CHAIRE INTERNATIONALE SUR LE CYCLE DE VIE



RAPPORT TECHNIQUE

ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV) DE FILIÈRES DE PRODUCTION DÉCENTRALISÉE D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE À PETITE ÉCHELLE

Mai 2013

Préparé pour :

Hydro-Québec
Unité environnement et développement durable
Direction principale Environnement et Affaires corporatives
75 boul. René-Lévesque ouest, 2ème étage
Montréal (Québec) H2Z 1A4

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL
LE GÉNIE EN PREMIÈRE CLASSE

ESG UQÀM

Ce rapport a été préparé par la Chaire internationale sur le cycle de vie, unité de recherche du CIRAIG (le Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits procédés et services).

Fondé initialement par l'École Polytechnique de Montréal, en collaboration avec l'Université de Montréal et l'École des Hautes Études Commerciales de Montréal, le CIRAIG a été mis sur pied afin d'offrir aux entreprises et aux gouvernements une expertise universitaire de pointe sur les outils du développement durable. Le CIRAIG est le seul centre de recherche interuniversitaire sur le cycle de vie au Canada. Il est également un des plus importants sur le plan international.

Chaire internationale sur le cycle de vie

Unité de recherche du CIRAIG

École Polytechnique de Montréal
Département de génie chimique
2900, Édouard-Montpetit
Montréal (Québec) Canada
C.P. 6079, Succ. Centre-ville
H3C 3A7
http://www.chaire-cycledevie.org/fr/

Équipe de travail

Réalisation

Mourad Ben Amor, Ph.D.
Réalisation de l'ACV des filières électriques

Geneviève Martineau, ing., M.Sc.A.
Analyste senior, Révision interne et réponse aux réviseurs

Collaboration

Renée Michaud, ing., M. Ing. — Coordination du projet
Directrice des affaires industrielles

Projet réalisé sous la responsabilité du Pr. Réjean Samson, ing., Ph.D.

Revue critique par un comité de parties prenantes

Gontran Bage, ing. Ph.D. — Présidence du comité de révision
Ingénieur senior, chez Dessau au moment d'initier la revue critique

Antoine Lacroix, ing. M. Sc. — Révision
CanmetÉnergie – Ressources naturelles Canada

Yves Poissant, Ph.D. — Révision
CanmetÉnergie – Ressources naturelles Canada

Sommaire

Hydro-Québec a mandaté la Chaire internationale sur le cycle de vie pour qu'elle analyse et compare, au moyen de la méthodologie d'analyse du cycle de vie (ACV), différentes filières de production décentralisée d'énergie électrique à petite échelle.

Les objectifs de cette étude consistent à :

1. Établir le profil environnemental du cycle de vie de différents systèmes génériques de production décentralisée d'énergie électrique utilisés dans des conditions climatiques québécoises moyennes;
2. Identifier les points chauds (c.-à-d. les plus grands contributeurs à l'impact) et les paramètres clés (c.-à-d. les paramètres qui influencent le plus le bilan environnemental) propres aux différents systèmes à l'étude;
3. Comparer les systèmes entre eux et avec le réseau d'Hydro-Québec (système de référence).

Les technologies modélisées sont dites *à petite échelle,* car elles fournissent moins de 50 kilowatts (kW) (soit un maximum théorique de 438 000 kilowattheures (kWh)/an, considérant une production efficace à 100 % durant toute l'année), et leur énergie est dite *décentralisée,* car leur exploitation se fait à proximité des bâtiments à approvisionner. De telles installations permettent à leurs propriétaires de produire l'énergie électrique. Ce type de production énergétique est actuellement admissible à l'option de mesurage net pour autoproducteurs d'Hydro-Québec (www.hydroquebec.com/autoproduction/index).

En tout, cinq technologies ont été retenues. Elles représentent les systèmes les plus fréquemment utilisés en contexte québécois pour la production décentralisée d'énergie électrique :

- Systèmes éoliens
    1. Éolienne de petite puissance de 30 kW : durée de vie de 20 ans, production de 52 560 kWh/an en moyenne.
    2. Éolienne de petite puissance de 10 kW : durée de vie de 20 ans, production de 22 756 kWh/an en moyenne.
    3. Éolienne de petite puissance de 1 kW : durée de vie de 20 ans, production de 2 314 kWh/an en moyenne.
- Systèmes solaires photovoltaïques
    4. Panneaux solaires photovoltaïques monocristallins de 3 kWp (kilowatt-peak) : durée de vie de 30 ans, production de 3 450 kWh/an en moyenne.
    5. Panneaux solaires photovoltaïques polycristallins de 3 kWp : durée de vie de 30 ans, production de 3 450 kWh/an en moyenne.

Le système de référence (le réseau) comprend quant à lui l'énergie produite par Hydro-Québec, l'électricité achetée de producteurs privés et les importations, de manière à représenter l'électricité disponible chez le consommateur en 2011. Le mélange d'approvisionnement final considéré est composé à 95,73 % d'hydroélectricité; 2,37 % de nucléaire; 0,35 % de charbon; 0,19 % de gaz naturel; 0,74 % d'éolien et 0,51 % de biomasse.

Pour pouvoir comparer les différentes technologies entre elles, et avec l'électricité du réseau d'Hydro-Québec, une base commune de comparaison (ou unité fonctionnelle) a été identifiée et se définit comme suit :

« Produire et distribuer un kWh d'électricité au Québec, en 2011 ».

Toutes les étapes « du cycle de vie » des technologies ont été prises en compte dans la présente étude : la production, le transport et l'installation des composantes des systèmes, l'étape d'utilisation et leur fin de vie. Pour ce qui est de l'énergie du réseau d'Hydro-Québec, les infrastructures du réseau de même que les étapes de production, achats et importation, de transmission et de distribution d'électricité (incluant les pertes en ligne) ont été incluses.

Cette étude a été réalisée à partir de données génériques issues de banques de données commerciales ou de la banque de données du CIRAIG, d'informations transmises par des entrepreneurs, de rapports d'études diverses, ou d'autres sources publiées. Dans tous les cas, les données sélectionnées sont représentatives de systèmes de production décentralisée d'énergie électrique appliqués au Québec, sans pour autant couvrir toutes les options disponibles sur le territoire.

La méthode européenne **IMPACT 2002+** (Jolliet et coll., 2003) a été employée pour **l'évaluation des impacts du cycle de vie**, car elle permet une agrégation des résultats de quinze indicateurs d'impacts en quatre catégories de dommages : *Santé humaine, Qualité des écosystèmes, Changement climatique* et *Ressources*. Les indicateurs d'impacts *Acidification aquatique* et *Eutrophisation aquatique,* non pris en compte dans ces catégories, ont été évalués en conjonction avec les indicateurs de dommage pour compléter l'évaluation des impacts du cycle de vie.

<u>Résultats</u>

Profils environnementaux des systèmes

La première analyse a permis d'identifier les processus et paramètres qui contribuent le plus aux impacts potentiels des différents systèmes. Ces profils environnementaux ont fait ressortir les éléments suivants.

Pour le système de référence (**réseau d'Hydro-Québec**) :

- Les **grands contributeurs** sont l'étape de production et de distribution d'électricité;
- Les impacts potentiels associés à l'étape de production d'électricité sont principalement dus aux importations d'énergie générée à partir de sources fossiles (charbon, gaz naturel) ;
- Le réseau de distribution contribue fortement à l'indicateur *Qualité des écosystèmes* à cause de la lixiviation des produits de préservation des poteaux de bois et de la production des câbles de distribution. Il faut cependant noter que les modèles d'évaluation employés pour caractériser les émissions toxiques ont tendance à surestimer les impacts potentiels des métaux émis au sol.

Pour les **systèmes éoliens** :

- Les **grands contributeurs** sont les étapes de production et de distribution des composantes, à cause de l'importance des infrastructures et de leur transport. La partie fixe (tour et fondation) compte pour une part assez importante des impacts potentiels de l'étape de production des systèmes. Pour les parties mobiles, la nacelle, les

raccordements et l'onduleur des éoliennes de 1 et 10 kW sont les éléments qui ressortent le plus.

- Les **paramètres clés** sont : la puissance, la durée de vie, la nature et la masse de ces composantes.
- Une attention particulière devrait aussi être portée à l'étape de distribution par camion des composantes jusqu'au site d'installation, sachant que leur distance de transport influence de manière non négligeable les impacts environnementaux potentiels.

Pour les **systèmes solaires photovoltaïques** :

- Le **grand contributeur** est l'étape de production, et plus particulièrement la production de la cellule photovoltaïque, du cadre d'aluminium du panneau et du verre solaire;
- Les **paramètres clés** qui ressortent de cette analyse sont la durée de vie et le lieu de fabrication des cellules photovoltaïques (soit la nature de l'énergie utilisée pour leur production).
- Il y aurait lieu de privilégier des fabricants de cellules localisés au Québec où dans des endroits ayant une faible dépendance aux énergies fossiles.

Comparaison des systèmes sur la base de la production de 1 kWh d'énergie électrique

La seconde analyse a permis de comparer les systèmes de production décentralisée d'énergie électrique entre eux et avec le réseau provincial d'Hydro-Québec, sur la base de la production de 1 kWh d'énergie électrique.

Dans cette analyse, l'indicateur *Qualité des écosystèmes* favorise tous les systèmes de production décentralisée d'énergie électrique par rapport au réseau d'Hydro-Québec, à cause des émissions toxiques au sol potentiellement engendrées par le réseau de distribution du système de référence (poteaux de bois traité). Cependant, les modèles de caractérisation actuellement disponibles ont tendance à surestimer l'impact potentiel des métaux émis au sol, engendrant d'importantes incertitudes pour cet indicateur. Afin de tester la robustesse des résultats de cette catégorie de dommage, une analyse de sensibilité avec une seconde méthode d'évaluation – ReCiPe – a été réalisée et a montré que les tendances observées sont inversées entre les deux méthodes. Il n'est donc pas possible de conclure sur la base de l'indicateur *Qualité des écosystèmes* et pour ne pas apporter de confusion, il a été choisi de retirer cet indicateur de la Figure 1 et pour la suite de l'analyse.

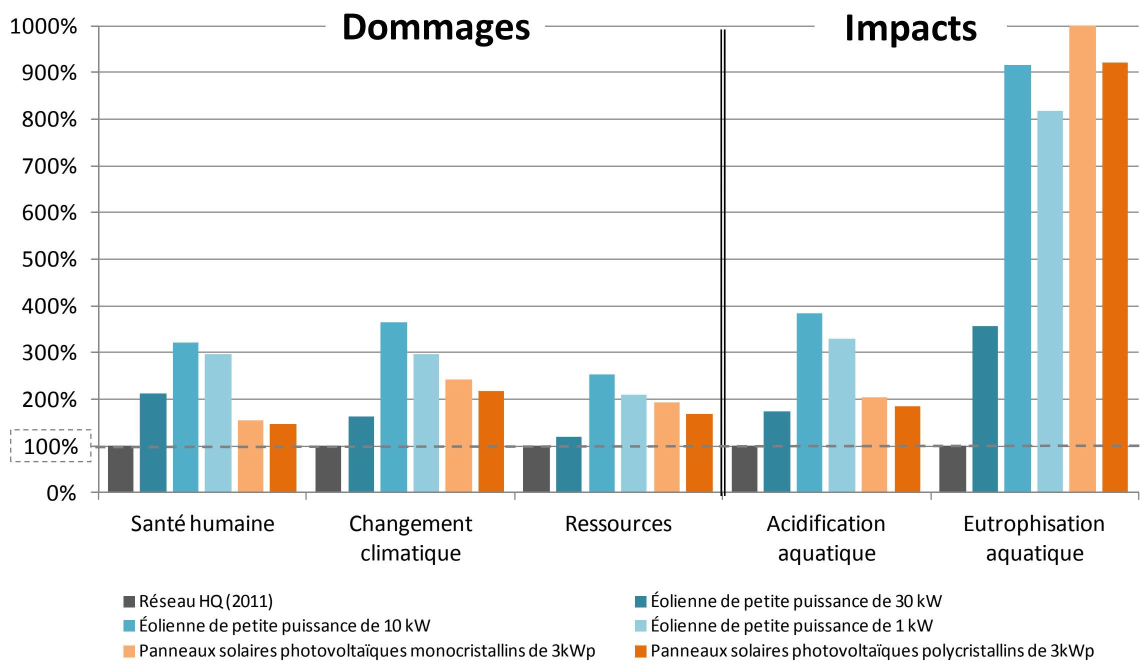


Figure 1 : Comparaison environnementale des systèmes à l'étude par rapport au kWh d'électricité distribué par Hydro-Québec.

Globalement, on retient que dans un contexte de conditions climatiques moyennes représentatives du Québec :

- Le kWh distribué par le réseau d'Hydro-Québec est favorisé par rapport aux cinq systèmes de production décentralisée d'énergie évalués selon les indicateurs les indicateurs *Santé humaine, Changement climatique, Ressources, Acidification aquatique* et *Eutrophisation aquatique*.
- Les émissions de métaux au sol, engendrées par les poteaux de bois traité du réseau de distribution d'Hydro-Québec, présentent un impact potentiellement important. Il n'est cependant pas possible de les évaluer avec les modèles de caractérisation actuels.
- L'éolienne de petite puissance de 30 kW présente une meilleure performance environnementale que les éoliennes de 10 et de 1 kW. Il constitue également le système de production décentralisée qui a le plus de potentiel de présenter un bénéfice environnemental global par rapport au kWh distribué par le réseau d'Hydro-Québec.
- Les panneaux photovoltaïques de type monocristallins et polycristallins présentent des profils environnementaux similaires.
- La comparaison environnementale des cinq systèmes de production d'énergie renouvelable favorise l'éolienne de 30 kW selon les catégories *Changement climatique*, *Ressources*, et *Eutrophisation aquatique,* alors que l'indicateur *Santé humaine* favorise les panneaux solaires et que les indicateurs *Qualité des écosystèmes* et *Acidification aquatique* ne permettent pas de trancher entre l'éolienne de 30 kW et les panneaux photovoltaïques. En fonction de l'importance relative accordée aux différentes catégories évaluées, les décideurs peuvent donc choisir l'un ou l'autre des systèmes de production décentralisée d'énergie électrique.

Cinq analyses de sensibilité ont également été effectuées pour vérifier l'influence des hypothèses de modélisation sur les conclusions de l'étude. Le rendement annuel moyen des systèmes solaires photovoltaïques et éoliens ; la distance de transport des composantes des systèmes éoliens ; le lieu de production des panneaux et cellules photovoltaïques ; la source d'approvisionnement énergétique marginale évitée par la production d'électricité à petite échelle et la méthode d'évaluation des impacts ont été modifiés pour évaluer leur effet sur les résultats.

Le tableau 1 résume les conclusions de l'ensemble des analyses réalisées. La classification des systèmes de production décentralisée d'énergie électrique qui y est présentée est applicable dans la mesure où les technologies considérées et les conditions météorologiques sont semblables à celles modélisées dans la présente étude.

Tableau 1 : Résultats des tendances observées par rapport à l'énergie du réseau d'Hydro-Québec et classement des systèmes de production d'énergie électrique décentralisée

Indicateur (IMPACT 2002+)	Éolienne de petite puissance de 30 kW	Éolienne de petite puissance de 10 kW	Éolienne de petite puissance de 1 kW	Panneaux photovoltaïques monocristallins de 3kW	Panneaux photovoltaïques polycristallins de 3kW
Santé humaine	2	4	3	1	1
Qualité des écosystèmes					
Changement climatique	1	4	3	2	2
Ressources	1	5	4	3	2
Acidification aquatique	1	4	3	1	1
Eutrophisation aquatique	1	4	3	2	2

Légende		
	(bleu)	Le kWh du réseau de HQ présente moins d'impact potentiel que le système de production décentralisée
	(vert)	L'analyse de base favorise le kWh du réseau de HQ, mais cette conclusion pourrait être inversée selon les hypothèses considérées
	(gris)	il n'est pas possible de trancher quant à l'avantage d'une option sur l'autre
	1-5	Classification des technologies selon leur performance. « 1 » représente le choix de technologie à privilégier pour réduire les impacts potentiels pour un indicateur environnemental donné.

Enfin, l'analyse sur le type d'énergie marginale que permettent de remplacer les systèmes de production décentralisée a permis de conclure que tous les systèmes de production décentralisée d'énergie électrique évalués présentent un bénéfice environnemental important dès lors qu'ils permettent de réduire les importations ou d'augmenter les exportations d'Hydro-Québec vers les territoires voisins plus fortement dépendants des énergies fossiles.

Perspectives et recommandations

La présente étude est balisée en fonction des particularités d'un contexte énergétique de faible puissance, représentatif des conditions climatiques québécoises moyennes. D'autres contextes d'utilisation ou d'autres types de puissances énergétiques présentent également un intérêt : par exemple, les régions éloignées du Québec qui ne sont pas raccordées au réseau utilisent des sources énergétiques de types fossiles pour leurs besoins électriques. En continuité avec le présent projet, il serait intéressant d'élargir le champ de l'analyse afin d'inclure un éventail plus

large de contextes d'utilisation. La présente étude a aidé à la définition d'un cadre méthodologique qui pourrait être adapté à ce type de problématique.

Enfin, des modèles différents de systèmes pourraient être adaptés au contexte résidentiel. Par exemple, il existe dans le domaine agricole des panneaux solaires photovoltaïques conçus pour suivre la position du soleil, ce qui permet d'accroître leur production électrique de 20 à 40 %. Un tel système pourrait éventuellement être modélisé pour en évaluer la performance.

Cette ACV vise à établir le profil environnemental de cycle de vie de différentes technologies de production décentralisée d'énergie électrique à petite échelle, et à les comparer. Toutes conclusions tirées de cette étude hors de son contexte original doivent être évitées.

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations et sigles

AA	Acidification aquatique (catégorie d'impact environnemental)
ACV	Analyse du cycle de vie
CC	Changement climatique (catégorie de dommage environnemental)
CIRAIG	Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services
CO_2	Dioxyde de carbone
DALY	Disabled Adjusted Life Years
EA	Eutrophisation aquatique (catégorie d'impact environnemental)
ÉICV	Évaluation des impacts du cycle de vie (appelé ACVI par ISO)
GES	Gaz à effet de serre
ICV	Inventaire du cycle de vie
ISO	Organisation internationale de normalisation
kg CO_2 éq.	Kilogramme de dioxyde de carbone équivalent
kg PO_4 éq.	Kilogramme de phosphate équivalent
kg SO_2 éq.	Kilogramme de dioxyde de soufre équivalent
kW	Kilowatt
kWp	kilowatt-peak (puissance nominale d'un système solaire photovoltaïque, en condition d'illumination maximale)
kWh	Kilowattheure
LUCAS	*Life cycle impact assessment method Used for a Canadian specific context*
PDF*m²*an	« Potentially Disapppeared Fraction » sur une certaine surface et sur une durée donnée
PRG	Potentiel de réchauffement global (GWP en anglais)
PV	Photovoltaïque
QE	Qualité des écosystèmes (catégorie de dommage environnemental)
R	Ressources (catégorie de dommage environnemental)
SF_6	Hexafluorure de soufre
SH	Santé humaine (catégorie de dommage environnemental)

1 Mise en contexte

Les systèmes traditionnels d'approvisionnement en énergie électrique (constitués de grands réseaux locaux interconnectés) font désormais face à la progression rapide des performances de différents systèmes de production décentralisée d'énergie. Les technologies de production d'énergie à partir de sources d'énergies renouvelables semblent progresser particulièrement rapidement (Haeseldonckx *et coll.*, 2008). Le mouvement pourrait être aidé par des phénomènes comme les politiques de réduction de gaz à effet de serre. Au Québec, le *Règlement concernant le système de plafonnement et d'échange de droits d'émission de gaz à effet de serre*, qui est entré en vigueur le 1er janvier 2012, réglemente le secteur de l'électricité à compter de 2013, et étendra la couverture du système au secteur du bâtiment à compter de 2015.

Dans une optique similaire, Hydro-Québec permet aux propriétaires de technologies de production d'électricité admissibles à l'option de mesurage net[1] d'injecter leurs surplus de production dans le réseau en échange de crédits, appliqués à leur consommation d'énergie sous la forme de kilowattheures (kWh).

D'un point de vue environnemental et économique, la production décentralisée possède l'avantage de réduire les pertes de transmission, puisque la plus grande part de l'énergie produite est consommée à proximité ou à même les sites de production. Toute technologie nécessite cependant des matériaux et de l'énergie pour sa production, son installation et sa gestion en fin de vie. La prise en compte de l'ensemble du cycle de vie des technologies paraît donc indispensable à l'établissement d'indicateurs éclairants pour le suivi et l'amélioration de l'option de mesurage net pour autoproducteurs d'Hydro-Québec. Du point de vue technique, plusieurs facteurs pourront également avoir une incidence sur la performance environnementale de ces technologies, notamment les conditions météorologiques locales et donc le contexte géographique d'implantation.

C'est dans ce contexte qu'Hydro-Québec a mandaté la Chaire internationale sur le cycle de vie pour qu'elle analyse et compare, au moyen de la méthodologie d'analyse du cycle de vie (ACV), le profil environnemental de différentes filières de production décentralisée d'énergie électrique à petite échelle.

L'étude a été réalisée en accord avec les exigences des normes ISO 14 040 et 14 044 (ISO, 2006a, b).

Il est à noter que l'Annexe A présente la méthodologie ACV en détail, comprenant une section définissant les termes spécifiques au domaine.

[1] Sont admissibles à l'option de mesurage net les sources d'énergie renouvelables suivantes : l'énergie hydroélectrique, l'énergie éolienne, l'énergie photovoltaïque, la bioénergie (les biogaz ou la biomasse forestière), et la géothermie (à des fins de production d'électricité seulement).

2 Modèle d'étude ACV

Ce chapitre présente le modèle d'étude définissant le cadre méthodologique auquel doivent se conformer les phases subséquentes de l'ACV.

2.1 Objectifs de l'étude et application envisagée

Le **but de cette étude** est d'analyser et de comparer le cycle de vie de différentes technologies de production décentralisée d'énergie électrique à petite échelle.

Plus spécifiquement, les **objectifs** de l'étude sont de :

1. **Établir** le profil environnemental du cycle de vie de différents systèmes génériques de production décentralisée d'énergie électrique utilisés dans des conditions climatiques québécoises moyennes.
2. **Identifier** les points chauds (c.-à-d. les plus grands contributeurs à l'impact) et les paramètres clés (c.-à-d. les paramètres qui influencent le plus le bilan environnemental) propres aux différents systèmes à l'étude;
3. **Comparer** les systèmes entre eux et avec le réseau d'Hydro-Québec (système de référence).

La description des systèmes est présentée à la section suivante.

Les résultats de l'étude sont envisagés afin 1) d'en améliorer leur compréhension, 2) de cerner des pistes d'amélioration pour l'option de mesurage net pour autoproducteurs et 3) de contribuer à une réflexion plus large sur la question de l'efficacité énergétique au Québec, en lien avec l'action 3 du plan d'action de développement durable 2009-2013 d'Hydro-Québec (Hydro-Québec, 2009).

Conformément aux normes ISO, les revues critiques d'ACV sont facultatives lorsque les résultats sont voués à un usage interne par le mandataire. Cependant, une telle revue est une étape importante et obligatoire pour assurer la validité complète des résultats avant toutes communications publiques, telles que les déclarations environnementales de produits, suivant les normes ISO 14 020, ou les affirmations comparatives rendues publiques, suivant les normes ISO 14 040.

En ce qui a trait à cette étude, une revue critique a été réalisée par un expert ACV externe et un comité d'experts indépendants. Se référer à la section 2.9 pour plus de détail sur le processus de revue critique.

2.2 Description générale des technologies à l'étude

La présente étude compare des technologies de production décentralisée d'énergie électrique à petite échelle. Les technologies modélisées sont dites *à petite échelle,* car elles fournissent au plus 50 kilowatts (kW) (soit un maximum théorique de 438 000 kWh/an, considérant une production efficace à 100 % durant toute l'année), et leur énergie est dite *décentralisée,* car leur exploitation se fait à proximité des bâtiments à approvisionner. De telles installations permettent à leurs propriétaires de produire l'énergie électrique nécessaire pour combler en partie ou en totalité les besoins énergétiques d'un bâtiment.

En tout, cinq technologies ont été retenues. Elles représentent les systèmes les plus fréquemment utilisés en contexte québécois pour la production décentralisée d'énergie électrique :

- Systèmes éoliens
    1. Éolienne de petite puissance de 30 kW
    2. Éolienne de petite puissance de 10 kW
    3. Éolienne de petite puissance de 1 kW
- Systèmes solaires photovoltaïques
    4. Panneaux solaires photovoltaïques monocristallins de 3 kWp
    5. Panneaux solaires photovoltaïques polycristallins de 3 kWp

Les sous-sections qui suivent décrivent ces cinq technologies ainsi que la technologie de référence (réseau d'Hydro-Québec). Plus de détail quant aux technologies modélisées est également disponible à la section 2.6.

2.2.1 Technologie de référence

Au Québec, le kilowattheure (kWh) produit et distribué par le réseau provincial dans le cadre du service résidentiel d'Hydro-Québec a été adopté comme technologie de référence.

Le système de référence (le réseau) comprend quant à lui l'énergie produite par Hydro-Québec, l'électricité achetée de producteurs privés et les importations, de manière à représenter l'électricité disponible chez le consommateur en 2011. Le mélange d'approvisionnement final considéré est composé à 95,73 % d'hydroélectricité; 2,37 % de nucléaire; 0,35 % de charbon; 0,19 % de gaz naturel; 0,74 % d'éolien et 0,51 % de biomasse (Hydro-Québec, 2011).

Le Tableau 2-4 présenté à la section 2.6 détaille le *grid mix* québécois considéré dans le cadre de l'étude.

2.2.2 Technologies de production décentralisée

Dans un contexte de production décentralisée, un système de production d'énergies renouvelables connecté au réseau est généralement composé (Gouvernement du Canada, 2003) :

- Du système de production d'énergie (par exemple : modules photovoltaïques ou éoliennes de petite puissance);
- D'un ou plusieurs onduleurs;
- De compteurs d'électricité, de câbles électriques pour les connexions; et
- De diverses composantes (fusibles, disjoncteurs, etc.).

La Figure 2-1 présente un exemple de configuration des éléments nécessaires pour la production d'énergies renouvelables avec raccordement au réseau (Hydro-Québec, 2005). Les principales composantes des systèmes sélectionnés sont décrites dans les sous-sections suivantes.

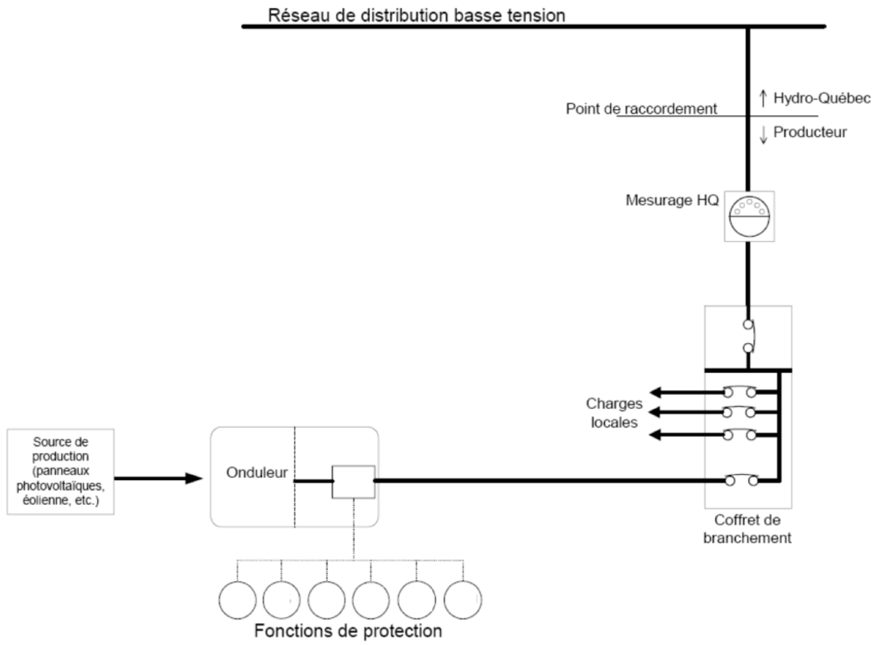


Figure 2-1 : Principe du raccordement au réseau de distribution d'un système de production décentralisée.

(Norme E.12-07 d'Hydro-Québec Distribution)

2.2.3 Systèmes éoliens

Le principe d'un système éolien est de transformer l'énergie du vent en électricité.

Selon le TechnoCentre éolien (Association Canadienne de l'Énergie Éolienne, 2005), le marché canadien des éoliennes de petite puissance est divisé en trois catégories :

- Les mini-éoliennes, ayant une capacité de production nominale de 300 W à 1 kW;
- Les petites éoliennes, dont la capacité se situe entre 1 et 30 kW (fréquemment employées pour la production décentralisée et admissibles à l'option de mesurage net pour autoproducteurs);
- Les moyennes éoliennes, se situant entre 30 et 300 kW.

Bien qu'il existe plusieurs types d'éoliennes, la technologie à axe horizontal à trois pales est la plus utilisée (Association Canadienne de l'Énergie Éolienne, 2005).

Les composantes principales d'une éolienne de petite puissance sont la tour (partie fixe), le rotor et la nacelle (parties amovibles ou mobiles). Ces composantes sont essentiellement constituées de métal (acier, aluminium, cuivre) et de fibre de verre (Burger et Bauer, 2007). L'installation de la partie mobile est accomplie de façon similaire à d'autres projets d'infrastructures utilisant des matériaux de construction comme les câbles en acier dans le cas d'un soutènement. La tour supporte l'éolienne et fait donc partie intégrante du système éolien. Il existe différents types de tours. Les tours haubanées sont économiques et très résistantes. L'ancrage adéquat des haubans nécessite un espace suffisant à la base de la tour. Les fondations en béton de la tour doivent être assez profondes pour résister aux efforts maximums de traction des câbles. Les tours en treillis autoportantes sont généralement plus coûteuses, car les matériaux qui entrent dans leur construction doivent être plus lourds. N'étant pas haubanées,

elles doivent posséder des fondations plus importantes (Association Canadienne de l'Énergie Éolienne, 2005).

2.2.4 Systèmes solaires photovoltaïques

Le principe d'un système photovoltaïque est de transformer la lumière du soleil en électricité.

Les cellules photovoltaïques sont composées d'un matériau semi-conducteur (généralement à base de silicium). Lorsque les photons frappent ces cellules, ils transfèrent leur énergie aux électrons du matériau. Ceux-ci se mettent alors en mouvement dans une direction particulière, suivant une grille collectrice, créant ainsi un courant électrique continu dont l'intensité varie en fonction de l'ensoleillement. Les cellules photovoltaïques sont constituées de deux couches semi-conductrices confinées entre deux électrodes métalliques. Ces cellules sont assemblées en série et encapsulées des matières plastiques et dans une vitre encadrée d'aluminium pour former le module photovoltaïque qui est l'unité de base du système photovoltaïque. L'ensemble des modules et du support mécanique forment le panneau solaire et les composants additionnels comme l'onduleur, la boîte de raccordement et les fils électriques complètent le système photovoltaïque distribué raccordé au réseau.

Plusieurs générations existent déjà pour le solaire photovoltaïque (PV). Cependant, certaines générations bénéficient d'un bon degré de maturité comparativement à d'autres, qui sont encore au stade expérimental. Parmi les modules PV les plus commercialisés, on compte les sous-catégories suivantes (Koroneos et coll., 2006) :

- Silicium monocristallin et polycristallin;
- Couches minces : Silicium -amorphe microcristallin (a-Si), cellule tellure de cadmium (CdTe), cellule Cuivre Idium Gallium Sélénium (CIGS) et cellule diséléniure de cuivreindium (CIS).

Jusqu'à présent, la première sous-catégorie représente la majeure partie du marché comparativement à la deuxième, qui commence à se tailler une place (Raugei et Frankl, 2009).

Pour produire une **cellule monocristalline**, du silicium pur est nécessaire. Le silicium est obtenu grâce à un processus de réduction de la silice en utilisant du carbone. La silice (quartz) est extraite et purifiée avant la réduction. Le silicium fondu, lors de son refroidissement, forme un seul cristal de grande dimension. Ce cristal cylindrique est alors scié en fines tranches pour obtenir des rondelles (*wafer*) nécessaires pour la fabrication des cellules. Ces cellules, en général d'un bleu uniforme, possèdent un rendement supérieur aux cellules polycristallines (en moyenne de 16%) (Koroneos et coll., 2006).

Pour produire une **cellule polycristalline** (le terme multicristalline est également utilisé), du silicium liquide est coulé dans des blocs qui sont par la suite sciés en tranches. Au cours de la solidification, des structures cristallines de tailles diverses se forment, ce qui explique l'apparence non uniforme des cellules. Ces cellules possèdent un rendement légèrement inférieur aux cellules monocristallines (en moyenne de 14%), mais restent appliquées pour produire de l'énergie renouvelable (Raugei et Frankl, 2009).

La présente étude ne considère que ces deux types de cellules PV, qui sont actuellement les plus répandues.

2.2.5 Les onduleurs

Les onduleurs, ou convertisseurs, servent à transformer la tension continue fournie par les panneaux solaires et les éoliennes de petite puissance en courant alternatif compatible avec le réseau. Ainsi, il est possible d'injecter l'énergie produite par ces systèmes dans le réseau d'approvisionnement électrique.

Il est à souligner que les éoliennes dont la puissance dépasse 30 kW utilisent couramment des génératrices asynchrones, qui produisent un courant alternatif compatible avec le réseau et qui peuvent être raccordées directement à ce dernier, sans onduleur. Dans ce cas, d'autres équipements de conditionnement d'énergie électrique (tels que des transformateurs) peuvent être nécessaires. De telles éoliennes doivent généralement être raccordées au réseau pour pouvoir fonctionner, puisque la génératrice en utilise le courant pour l'excitation de champ et la synchronisation de la fréquence (Association Canadienne de l'Énergie Éolienne, 2005).

2.3 Fonction et unité fonctionnelle

La fonction principale de chaque système consiste à produire de l'énergie. Leur équivalence fonctionnelle dépend de la forme d'énergie produite qui est dans ce cas-ci électrique.

L'**unité fonctionnelle**, c'est-à-dire la référence à laquelle se rapportent les calculs d'inventaire et d'évaluation des impacts, se définit comme suit :

« Produire et distribuer un kilowattheure (kWh) d'électricité au Québec, en 2011 ».

Les **flux de référence** font appel à la quantité de produits nécessaires pour remplir la fonction étudiée. Considérant la performance technique de chacun des systèmes, le nombre de chaque système permettant de remplir l'unité fonctionnelle (en unité/kWh) a été estimé (Tableau 2-1). Tous les besoins en matières et en énergie sur la période d'étude y sont inclus. Le détail des flux entrants et sortants considérés est fourni à l'Annexe C.

Tableau 2-1 : Caractéristiques de performance et flux de référence

Système	Performance	Flux de référence
1. Éolienne de petite puissance de 30 kW	Durée de vie : 20 ans Production totale : 52 560 x 20 = 1 051 200 kWh	$9{,}51 \times 10^{-7}$ unité/kWh
2. Éolienne de petite puissance de 10 kW	Durée de vie : 20 ans Production totale : 22 756 x20 = 455 120 kWh	$2{,}19 \times 10^{-6}$ unité/kWh
3. Éolienne de petite puissance de 1 kW	Durée de vie : 20 ans Production totale : 2 314 x20 = 46 280 kWh	$2{,}16 \times 10^{-5}$ unité/kWh
4. Panneaux solaires photovoltaïques monocristallins de 3 kWp	Durée de vie : 30 ans Production totale : 3 450 x30 = 103 500 kWh	$9{,}66 \times 10^{-6}$ unité/kWh
5. Panneaux solaires photovoltaïques polycristallins de 3 kWp	Durée de vie : 30 ans Production totale : 3 450 x30 = 103 500 kWh	$9{,}66 \times 10^{-6}$ unité/kWh

NOTES :

- La performance des éoliennes a été établie en considérant une vitesse de vent moyenne de 5,6 m/s. Cette vitesse est faible pour justifier l'utilisation d'une éolienne de 30 kWh. Une analyse de sensibilité a par ailleurs été réalisée sur différents rendements énergétiques, prenant en compte des vitesses de vent allant de 3 à 8,5 m/s.
- Les deux systèmes solaires ont la même production annuelle. La performance est prise en considération en tenant compte de la surface des panneaux (21,4 m^2 et 22,8 m^2 par 3 kWp de panneaux solaires monocristallins et polycristallins respectivement) et considérant un potentiel d'ensoleillement moyen de 1 533 kWh/m^2.an (panneaux orientés au sud et inclinés à une latitude de 15°) et un facteur de performance de 75%.
- Production totale : quantité totale d'énergie électrique que le système fournit sur sa durée de vie.
- La durée de vie choisie pour les équipements est tirée de la base de données ecoinvent. Dans le cas des éoliennes de 1 et 10 kW, il est possible que la durée de vie de 20 ans soit optimiste; une discussion à ce sujet est présentée à la sous-section 2.8.4 portant sur les analyses de sensibilité.
- Flux de référence : les quantités présentées représentent la fraction de chaque système attribuable à la production de 1 kWh d'énergie électrique.

2.4 Traitement des fonctions secondaires et règles d'imputation

L'ACV ne porte pas sur la comparaison de produits ou services spécifiques, mais bien sur une ou plusieurs fonctions remplies par ces produits ou services. En conséquence, les processus multifonctionnels doivent être considérés avec précaution.

Lorsqu'un processus est multifonctionnel (c.-à-d. qu'il génère plus d'un produit ou qu'il participe au recyclage de produits intermédiaires), il est nécessaire de répartir ses entrants et sortants entre ses différentes fonctions. Il s'agit en quelque sorte d'attribuer la responsabilité des impacts potentiels à chacun des éléments impliqués.

Les systèmes étudiés ne présentent aucun caractère multifonctionnel.

2.5 Frontières des systèmes

Les frontières des systèmes servent à identifier les étapes, processus et flux qui seront considérés dans l'ACV. Elles incluent toutes les activités pertinentes à l'atteinte des objectifs de l'étude et donc, nécessaires à la réalisation de la fonction étudiée.

Les sous-sections qui suivent présentent une description générale des frontières des systèmes, ainsi que les considérations géographiques et temporelles associées.

2.5.1 Processus inclus dans le système de référence

Le kilowattheure distribué par le réseau d'Hydro-Québec dans le cadre de son service résidentiel a été modélisé en y incluant les éléments décrits au Tableau 2-2. Puisqu'il s'agit de l'électricité consommée, elle comprend à la fois l'énergie produite par Hydro-Québec, l'électricité achetée de producteurs privés et les importations associées au marché.

Tableau 2-2 : Processus inclus et exclus du système de référence (kWh d'Hydro-Québec)

Étapes du cycle de vie	Processus/Sous-processus	Commentaires
Production, achats et importation d'électricité (selon *Grid mix* détaillé au Tableau 2-4)	Construction des infrastructures	Production et transport des matériaux et de l'énergie inclus
	Opération des installations	Matières entrantes et émissions générées lors de l'opération des équipements de production d'électricité incluses.
	Fin de vie des infrastructures	Incluse.
Transmission d'électricité (haute et moyenne tension)	Construction des infrastructures	Production et transport des matériaux et de l'énergie inclus
	Opération des installations	Haute tension : inclut les émissions à l'air (ozone et N_2O) pendant la transmission et 1% de pertes en ligne. Moyenne tension : inclut la consommation et les émissions à l'air de SF_6 pendant la transmission et 1% de pertes en ligne.
	Fin de vie des infrastructures	Incluse.
Distribution d'électricité (Basse tension)	Construction des infrastructures	Production et transport des matériaux et de l'énergie inclus
	Opération des installations	Inclut la consommation et les émissions à l'air de SF_6 pendant la transmission et 5,5% de pertes en ligne, soit les valeurs les plus récentes pour Hydro-Québec.
	Fin de vie des infrastructures	Incluse.

Le détail du système de référence (quantification des flux et processus) est fourni à l'Annexe C du présent rapport.

2.5.2 Processus inclus dans les systèmes de production d'énergie décentralisée

La Figure 2-2 schématise les frontières générales des systèmes de production d'énergie décentralisée étudiés. Elles incluent la production, le transport et l'installation des composantes des systèmes, leur utilisation pour produire l'énergie électrique et leur fin de vie.

Le détail des systèmes (quantification des flux et processus) est également fourni à l'Annexe C du présent rapport.

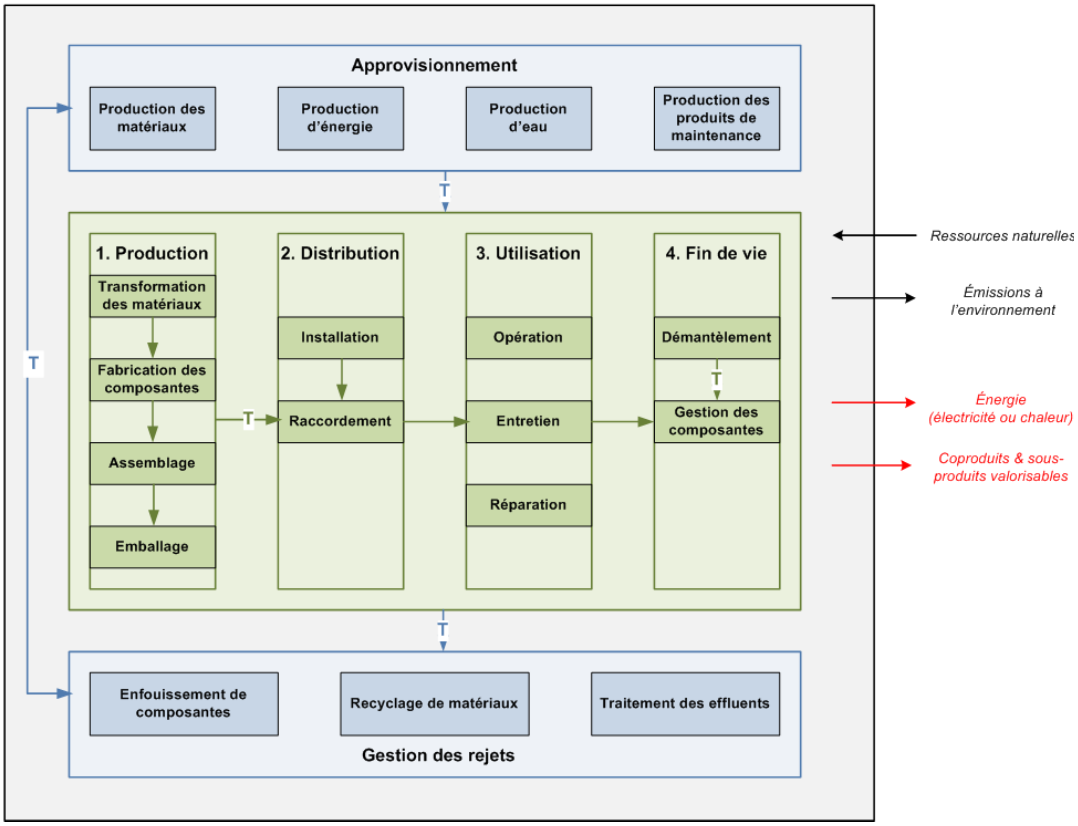


Figure 2-2 : Frontières générales des systèmes de production d'énergie électrique décentralisée à l'étude.

Le sous-système « **production »** touche à la fabrication des composantes de la technologie de production d'énergie décentralisée, et du système associé. Il inclut ici la « pré-production », c'est-à-dire la production de tous les matériaux et emballages nécessaires à l'étape de production, et à leur livraison au site de production. L'emballage des composantes, les infrastructures et l'opération des équipements de production sont également inclus. À l'issue de l'étape de production, il n'est donc pas question d'un produit fini, mais bien de plusieurs assemblages partiels de composantes et de matériaux de construction.

Le sous-système « **distribution** » vise les transports des composantes, de leur lieu de production jusqu'au détaillant, puis du détaillant vers le lieu d'installation (c.-à.-d. la résidence). Il inclut également les travaux liés à l'installation des systèmes par les ouvriers.

Les sous-systèmes « **utilisation** » et « **fin de vie** » concernent respectivement l'utilisation et l'entretien des systèmes et l'élimination des composantes à la fin de leurs vies utiles, incluant tous les transports vers la résidence (pour l'entretien) et celui des composantes usagées vers le lieu d'élimination ou de gestion finale. Lors de l'opération des systèmes, la distribution de l'électricité et les pertes associées au transport de l'énergie produite sont négligées, car les lieux de production sont à toutes fins pratiques sur les lieux d'utilisation.

Enfin, les sous-systèmes « **approvisionnement** » et « **gestion des rejets** » concernent respectivement, pour chacun des quatre sous-systèmes précédents, toutes les activités reliées :

- À l'approvisionnement en ressources (eau, énergie, produits chimiques, matériaux), comprenant l'extraction, le traitement et la transformation des ressources naturelles, de même que les différents transports requis jusqu'à l'arrivée aux sites d'utilisation des ressources (c.-à-d. les sites de pré-production, production, distribution, utilisation et de gestion en fin de vie).
- Au transport et au traitement des déchets générés à l'une ou l'autre de ces étapes du cycle de vie.

Dans tous les sous-systèmes, les processus d'« amont » identifiables sont inclus de manière à fournir la vue la plus complète possible du système. Par exemple, dans le cas de l'énergie utilisée pour un transport, non seulement les émissions liées à la combustion de carburant sont considérées, mais aussi les processus et matières nécessaires à la production de ce carburant. De cette manière, les chaînes de production de tous les entrants sont remontées jusqu'à l'extraction des matières premières.

Les processus et flux inclus et exclus de l'analyse sont résumés au Tableau 2-3. L'approvisionnement et la gestion des rejets ont été répartis entre les étapes du cycle de vie afin de simplifier la lecture du tableau.

Tableau 2-3 : Processus inclus et exclus des systèmes de production d'énergie électrique décentralisée

Étapes du cycle de vie	Processus/Sous-processus	Commentaires
Production	Fabrication et assemblage des composantes (systèmes de production d'énergie électrique incluant les composantes de raccordement et l'onduleur)	Production et transport des principaux composants/matériaux et emballages (s'il y a lieu).
	Emballage	
	Opération de fabrication sur les différents sites de production	Consommation d'électricité et d'eau et émissions directes à l'environnement incluses.
Distribution	Transport du matériel, du lieu de production à la résidence	Inclus.
	Manutention et entreposage chez l'installateur	*Exclus (données non disponibles)*
	Installation	Incluse. Selon les systèmes, peut comprendre excavation, raccordement, etc.
Utilisation	Opération/Maintenance	Comprenant le transport pour l'entretien et les matériaux de remplacement tels que l'huile de lubrification (systèmes éoliens) et l'onduleur dont la durée de vie est inférieure à celle du système.
	Distribution de l'électricité générée et des pertes associées au transport	*Exclues dans le cas des systèmes de production décentralisée (jugé négligeable).*
Fin de vie	Démantèlement et transport vers les lieux de gestion en fin de vie	Transport des composantes usagées au lieu d'élimination / gestion finale inclus.
	Gestion en fin de vie du produit	*Recyclage des métaux exclu (considéré comme faisant partie d'un autre système, approche* cut-off*)* Enfouissement des plastiques et autres matériaux inclus.

Il est à noter qu'aucun critère d'inclusion ou de coupure n'a été appliqué pour la présente étude : toutes les données disponibles ont été intégrées au modèle.

Comme présenté au Tableau 2-3, certains processus ont été exclus à cause d'un manque de données. Il n'est par ailleurs pas possible de connaître l'effet de l'inclusion de ces éléments sur les résultats.

2.5.3 Frontières géographiques et temporelles

Conformément à l'unité fonctionnelle sélectionnée, la présente étude constitue une ACV représentative du contexte québécois en 2011. Bien que certaines données datent d'années antérieures, il a été jugé qu'elles étaient pertinentes pour représenter les systèmes à l'étude. Ainsi, les activités associées à la production, aux transports, à l'installation, à l'exploitation et au démantèlement en fin de vie ont autant que possible été modélisées de manière à répondre à ce critère.

Par ailleurs, il est à noter que certains processus compris dans les frontières des systèmes peuvent avoir lieu n'importe où ou à n'importe quel moment s'ils sont nécessaires à la réalisation de l'unité fonctionnelle. Par exemple, les processus associés à l'approvisionnement en matières premières, ainsi qu'à la gestion des rejets générés peuvent avoir lieu au Québec ou ailleurs dans le monde. De plus, certains processus peuvent générer des émissions sur une plus longue période que l'année de référence. C'est le cas de l'enfouissement des déchets, qui engendre des émissions (biogaz et lixiviat) sur une période de temps dont la longueur (de quelques décennies à plus d'un siècle, voire des millénaires) dépend de la conception et des paramètres d'opération des cellules d'enfouissement et de la modélisation de leurs émissions dans l'environnement.

2.6 Sources, hypothèses et données d'inventaire du cycle de vie (ICV)

Les données requises à l'ACV concernent les matières premières utilisées, l'énergie consommée ainsi que les rejets générés à chaque étape du cycle de vie étudié.

Comme cette étude a pour but de fournir des données environnementales quant à différents systèmes génériques de production décentralisée d'énergie électrique, elle a été réalisée à partir de **données secondaires** (c.-à-d. des données génériques ou théoriques issues de banques de données commerciales ou de la banque de données du CIRAIG, d'informations transmises par des entrepreneurs, de rapports d'études diverses, ou d'autres sources publiées (voir Annexe C)). Dans tous les cas, les données sélectionnées sont représentatives de systèmes de production décentralisée d'énergie électrique appliqués au Québec, sans pour autant couvrir toutes les options disponibles sur le territoire.

Tous les systèmes ont été modélisés à l'aide des modules de données d'inventaire du cycle de vie (ICV) disponibles dans la banque *ecoinvent* version 2.0 (www.ecoinvent.ch/). Cette base de données européenne est particulièrement reconnue par la communauté scientifique internationale, car elle surpasse de loin les autres bases de données commerciales tant du point de vue quantitatif (nombre de processus inclus) que qualitatif (qualité des procédés de validation, complétude des données, etc.).

L'utilisation de données européennes pour représenter l'Amérique du Nord peut introduire un biais dans certains cas. Cependant, il est estimé que la cohérence et la complétude de cette base de données en font une option préférable à d'autres données disponibles pour la plupart des processus.

En outre, bien qu'*ecoinvent* soit d'origine européenne, elle contient des informations qui représentent plusieurs régions du monde. Par exemple, pour toutes les activités ayant lieu au Québec, les modules génériques ont été adaptés en remplaçant les mélanges d'approvisionnement énergétique (*grid mix*) européens par :

- Le *grid mix* québécois 2011 (incluant les achats et les importations, Hydro-Québec, 2011) pour les processus d'avant-plan, c.-à-d. la consommation d'électricité en phase d'exploitation des systèmes de production d'énergie décentralisée ;
- Le *grid mix* nord-américain pour tous les processus d'arrière-plan, c.-à-d. tous les processus directement et indirectement liés aux processus d'avant-plan (par ex. la production des composantes, des emballages, etc.). Le *grid mix* nord-américain est ici plus approprié considérant que l'approvisionnement peut avoir lieu n'importe où, et plus probablement en Amérique du Nord.

Ainsi, tous les processus d'avant-plan ayant lieu au Québec (incluant les divers transports) font appel à des processus d'arrière-plan adaptés au contexte énergétique nord-américain. Le Tableau 2-4 présente le détail des *grid mix* utilisés.

Tableau 2-4 : Mélanges d'approvisionnement énergétique utilisés

Mode de génération électrique	Québec	Amérique du Nord
Charbon	0,35%	44,7%
Pétrole	0,02%	4,4%
Gaz naturel	0,19%	17,3%
Nucléaire	2,37%	19,3%
Hydroélectrique	95,73%	13,6%
Éolien	0,74%	0,3%
Biomasse	0,51%	< 0,1%
Biogaz / déchets	< 0,1%	< 0,1%
Photovoltaïque	< 0,1%	< 0,1%

Le total peut différer de 100% à cause de l'arrondissement. Les modes de génération électriques pour lesquels la fraction indiquée est < 0,1% ont été négligés dans la modélisation.

2.6.1 *Données* ecoinvent

Une part importante du travail associé à la construction de l'inventaire a donc été de décortiquer, de valider et d'adapter les données génériques de la banque de données *ecoinvent* (représentative du contexte suisse) de sorte qu'elles reflètent le plus fidèlement possible la réalité et les particularités du contexte québécois. Cette manière de procéder a eu pour effet de maximiser l'uniformité et la cohérence des données utilisées pour la modélisation.

Les données génériques *ecoinvent* ayant servi à modéliser les systèmes à l'étude sont le résultat d'études de terrains comme c'est le cas pour la **filière solaire photovoltaïque**, dont le rendement électrique a été mesuré sur le terrain pour une année (2005) en Suisse (Bern).

2.6.2 Autres données collectées

Afin de valider le contenu et l'applicabilité des données *ecoinvent* au contexte de l'étude, d'autres sources de données ont été employées. Par exemple, des données ont été collectées auprès de manufacturiers présents sur le marché américain des technologies d'énergies renouvelables et de chercheurs spécialisés dans l'une ou l'autre des filières à l'étude (Bergey Windpower Co, 2011; CanSIA/NRCan, 2009).

La stratégie de recherche a consisté à identifier et quantifier la configuration et les caractéristiques de performance les plus communes dans les **systèmes éoliens et solaires photovoltaïques** au Québec. À partir des configurations dominantes, des modèles spécifiques ont été sélectionnés pour représenter les systèmes génériques (présentés aux sous-sections 2.2.3 et 2.2.4), de manière à valider et adapter les données génériques.

2.6.3 Hypothèses

Dans les cas où aucune source n'était disponible, des **hypothèses** ont aussi été posées. Les principales hypothèses relatives aux systèmes électriques sont les suivantes :

- Bien que la durée de vie soit variable au sein d'une même technologie de production d'énergie renouvelable, une durée de vie de 20 ans a été considérée pour les éoliennes de petite puissance et de 30 ans pour les panneaux solaires photovoltaïques.
- Les systèmes éoliens et solaires photovoltaïques issus de la base de données *ecoinvent* sont suffisamment représentatifs des technologies actuellement offertes par les installateurs québécois et canadiens.

Mentionnons aussi que pour tous les systèmes étudiés les données utilisées ont été :

1) Évaluées quant à leur représentativité temporelle, géographique et technologique ;
2) Collectées de manière à ce qu'elles soient les moins agrégées possible ;
3) Documentées conformément aux meilleures pratiques disponibles.

Le Tableau 2-5 résume les principales sources de données et hypothèses employées dans cette ACV, alors que l'Annexe C présente le détail des données utilisées.

Tableau 2-5 : Principales données, sources et hypothèses utilisées dans l'établissement de l'inventaire d'avant-plan

Système	Hypothèse	Source
Systèmes éoliens		
Les trois systèmes éoliens ont été modélisés à partir des processus génériques *ecoinvent* (« Wind power plant 30kW, moving parts/CH/I U » et « Wind power plant 30kW, fixed parts/CH/I U ») désagrégés et adaptés au contexte québécois en fonction des paramètres de performance et des données rendues disponibles par le fabricant américain Bergey. (Bergey Windpower Co, 2011).		
1. Éolienne de petite puissance de 30 kW	Capacité : 30 kilowatts Vitesse du vent sur une moyenne annuelle : 5,6 m/s Durée de vie du système : 20 ans pour la partie mobile (amovible) et 40 ans pour la partie fixe (tour) Rendement annuel : 52 560 kWh par an (facteur d'utilisation : 20 %) Tour indépendante de type mât (22 m)	Burger et Bauer (2007)
2. Éolienne de petite puissance de 10 kW	Capacité : 10 kilowatts Vitesse du vent sur une moyenne annuelle : 5,6 m/s Durée de vie du système : 20 ans pour la partie mobile (amovible) et 40 ans pour la partie fixe (tour) Rendement annuel : 22 756 kWh par an (facteur d'utilisation : 26 %) Tour indépendante de type treillis (30 m)	Bergey Windpower Co (2011) Burger et Bauer (2007)
3. Éolienne de petite puissance de 1 kW	Capacité : 1 kilowatt Vitesse du vent sur une moyenne annuelle : 5,6 m/s Durée de vie du système : 20 ans pour la partie mobile (amovible) et 40 ans pour la partie fixe (tour) Rendement annuel : 2 314 kWh par an (facteur d'utilisation : 26 %) Tour haubanée de type mât (10 m)	Bergey Windpower Co (2011) Burger et Bauer (2007)
Systèmes solaires photovoltaïques		
Les deux systèmes solaires photovoltaïques ont été modélisés à partir de processus génériques *ecoinvent* désagrégés et adaptés au contexte québécois : Pour les panneaux solaires photovoltaïques monocristallins de 3 kWp, la donnée « 3kWp slanted-roof installation, single-Si, panel, mounted, on roof/CH/I U» a été utilisée; Pour les panneaux solaires photovoltaïques polycristallins de 3kWp, la donnée « 3kWp slanted-roof installation, multi-Si, panel, mounted, on roof/CH/I U » a été utilisée.		
4. Panneaux solaires photovoltaïques monocristallins de 3kWp	Durée de vie du système : 30 ans Potentiel solaire (kWh/m^2) sur une moyenne annuelle, considérant une orientation au sud : 1 533 kWh/m^2 Surface de captage : 21,4 m^2 Production totale annuelle : 3 450 kWh (facteur d'utilisation : 13 %) Monture inclinée et fixée sur le toit	Jungbluth et Tuchschmid (2007)
5. Panneaux solaires photovoltaïques polycristallins de 3kWp	Durée de vie du système : 30 ans Potentiel solaire (kWh/m^2) sur une moyenne annuelle, considérant une orientation au sud : 1 533 kWh/m^2 Surface de captage : 22,8 m^2 Production totale annuelle : 3 450 kWh (facteur d'utilisation : 13 %) Monture inclinée et fixée sur le toit	Jungbluth et Tuchschmid (2007)

Le logiciel SimaPro 7.3, développé par PRé Consultants (www.pre.nl), a été utilisé pour faire la modélisation des systèmes et réaliser le calcul de l'inventaire.

2.7 Évaluation des impacts environnementaux

La méthode européenne IMPACT 2002+ (Jolliet *et coll.*, 2003) version 2.05, reconnue internationalement, a été choisie pour effectuer l'évaluation des impacts du cycle de vie des scénarios comparés. En plus de fournir les résultats pour quinze catégories d'impact, IMPACT 2002+[2] permet une agrégation en quatre catégories de dommage (Figure 2-3).

Cette méthode, bien que développée pour le contexte européen, a été préférée aux méthodes d'évaluation des impacts du cycle de vie nord-américaines existantes (LUCAS, TRACI) dû au large éventail couvert par les catégories de problème incluses, à la mise à jour fréquente des facteurs de caractérisation et à l'agrégation des catégories de problème en quatre catégories de dommage, ce qui simplifie la compréhension des résultats par des non-initiés à l'ACV.

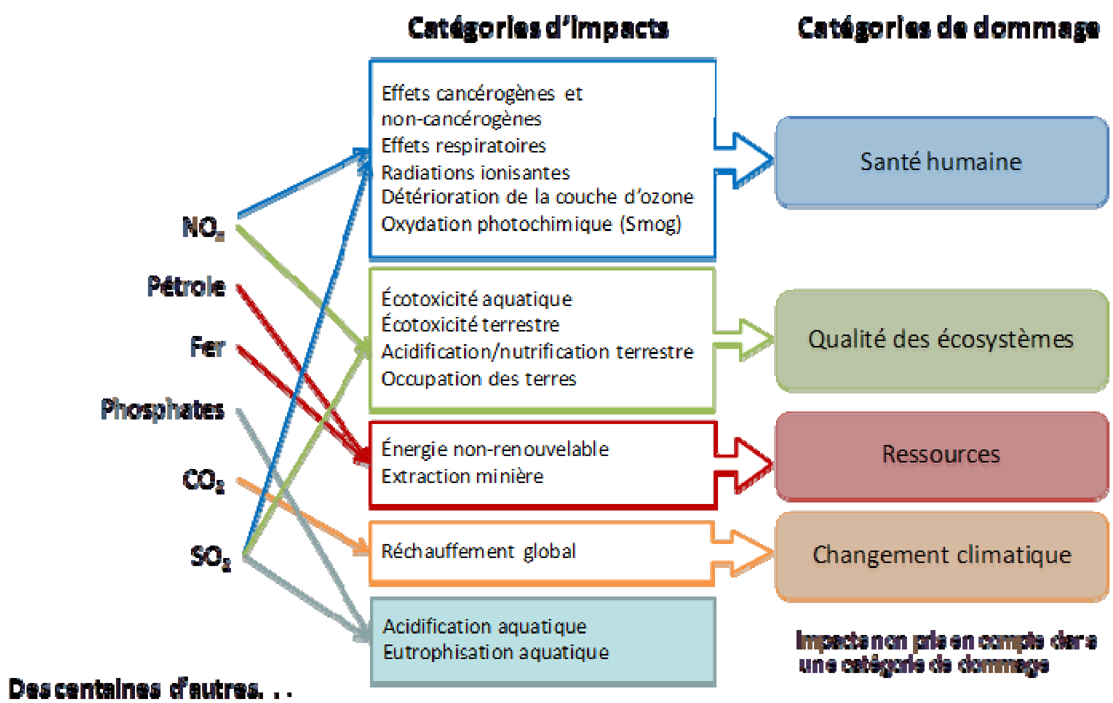


Figure 2-3 : Catégories de dommage et catégories d'impacts de la méthode IMPACT 2002+ (v.2.05).

L'agrégation des impacts environnementaux selon ces quatre catégories de dommage fournit des résultats plus simples à comprendre et à interpréter pour les non-initiés à l'ACV, en plus de permettre une évaluation rapide des principaux enjeux environnementaux potentiels associés aux scénarios à l'étude.

Les catégories de dommage peuvent se résumer ainsi :

- **Santé humaine** : cette catégorie prend en compte les substances ayant des effets toxiques (cancérogènes et non cancérogènes) et respiratoires, produisant des radiations ionisantes et qui contribuent à la destruction de la couche d'ozone. Afin d'évaluer le

[2] La présentation des catégories d'impact de la méthode IMPACT2002+ est habituellement disponible sur le site Internet www.sph.umich.edu/riskcenter/jolliet/impact2002+.htm#form2. Un résumé tiré du site – en anglais uniquement – est fourni à l'Annexe B.

facteur de dommage, la gravité de la maladie potentiellement causée par ces substances est exprimée en DALY - *Disabled Ajusted Life Years*, unité reflétant le dommage à la santé humaine.

- **Qualité des écosystèmes** : cette catégorie regroupe les impacts liés à la toxicité aquatique et terrestre, à l'acidification et la nitrification terrestre et à l'occupation des terres. Elle est quantifiée en fraction d'espèces potentiellement disparues, sur une surface donnée et durant une certaine période de temps, par kilogramme de substance émise (PDF*m²*an/kg).

- **Changement climatique** : le potentiel de chaque gaz à effet de serre (GES) est calculé en kilogrammes de dioxyde de carbone équivalent (kg CO_2 éq.), basé sur les données sur le forçage radiatif infrarouge. La méthode IMPACT 2002+ évalue les effets potentiels des émissions sur une période de 500 ans.

- **Ressources :** cette catégorie prend en compte l'utilisation de ressources énergétiques non renouvelables et l'extraction de minéraux, quantifiés en mégajoules d'énergie (MJ).

Mentionnons que :

- Ces catégories ne couvrent pas tous les impacts environnementaux possibles associés aux activités humaines. Plusieurs types d'impacts, dont le bruit, les odeurs, la qualité de l'air intérieur et les champs électromagnétiques ne font pas partie de la présente analyse. De plus, l'utilisation de l'eau n'est pas considérée dans cette version de la méthode.

- L'eutrophisation et l'acidification aquatiques ne sont pas prises en compte par les indicateurs de dommage de la méthode IMPACT 2002+ v.2.05 (dommages relatifs à la qualité des écosystèmes). Ces catégories d'impact sont donc évaluées en conjonction avec les indicateurs de dommage pour compléter l'évaluation des impacts du cycle de vie.

- Aucune normalisation des résultats par rapport à une base de référence n'a été effectuée. De même, aucune pondération des catégories de dommage pour ramener les résultats à un score unique n'a été réalisée (voir annexe A pour plus de détail sur les notions de pondération et de normalisation).

- Les résultats de l'évaluation des impacts du cycle de vie présentent des impacts environnementaux potentiels et non réels. Il s'agit d'expressions relatives (à l'unité fonctionnelle notamment) qui ne permettent pas de prédire les impacts finaux ou le risque sur les milieux récepteurs et le dépassement des normes ou marges de sécurité.

Tout comme pour l'inventaire, le logiciel SimaPro 7.3 a été utilisé pour faire le calcul des impacts potentiels associés aux émissions inventoriées. C'est lui qui procède à la classification des flux élémentaires entre les diverses catégories d'impact et au calcul des résultats d'indicateur de dommage.

Une deuxième évaluation basée sur la méthode ReCiPe (Goedkoop *et coll.*, 2009) a été réalisée en analyse de sensibilité afin de vérifier si la variabilité des modèles de caractérisation avait une influence significative sur les conclusions et donc, de tester la robustesse des résultats obtenus à partir d'IMPACT 2002+.

2.8 Interprétation

Cette dernière phase de l'ACV permet de discuter les résultats obtenus suite à l'évaluation des impacts du cycle de vie et de les mettre en perspective. Elle inclut une comparaison des systèmes, tels que décrits à la section 2.2.

Les résultats présentés au chapitre 3 sont appuyés sur une analyse complète et approfondie des données d'inventaire et de l'évaluation des impacts du cycle de vie. Cela comprend notamment :

- Une évaluation de la qualité des données;
- Une analyse de cohérence et de complétude;
- Des analyses de sensibilité et de scénarios;
- Des analyses d'incertitudes.

La méthodologie employée pour l'analyse et l'interprétation des données telles que l'évaluation de la qualité des données, la cohérence et la complétude et les analyses de sensibilité sont résumées ici. Mais d'abord, une précision est donnée quant à l'analyse de l'inventaire.

2.8.1 Analyse de l'inventaire

Les résultats d'inventaire en termes de quantités de matières et d'énergie associées à chacun des systèmes à l'étude ne sont pas présentés dans le corps de ce rapport. L'analyse exhaustive des entrants et sortants n'améliore généralement pas la compréhension des enjeux. En effet, les résultats d'inventaire (qui sont disponibles à l'Annexe E) contiennent trop d'informations et ne permettent pas en soi de conclure. Pour que l'analyse de l'inventaire soit pertinente, elle doit être faite en parallèle avec l'évaluation des impacts. Ainsi, en accord avec la norme ISO 14 044, l'évaluation des impacts du cycle de vie présentée et discutée au chapitre 3 constitue l'interprétation des résultats d'inventaire, en ayant pour but de mieux en comprendre la portée environnementale. Une analyse de contribution permet également d'identifier les flux d'inventaire qui sont à la source des impacts prédominants.

2.8.2 Évaluation de la qualité des données d'inventaire

La fiabilité des résultats et des conclusions de l'ACV dépend de la qualité des données d'inventaire qui sont utilisées. Il est donc important de s'assurer que ces données respectent certaines exigences spécifiées en accord avec l'objectif de l'étude.

Selon la norme ISO, les exigences relatives à la qualité des données devraient au minimum en assurer la **validité**, ce qui est équivalent ici à leur représentativité quant à l'âge, la provenance géographique et la performance technologique. Ainsi, les données utilisées devraient être représentatives :

- De la période définie par l'unité fonctionnelle, soit 2011 (voir section 2.3) ;
- Du contexte géographique dans lequel s'inscrivent les systèmes à l'étude, soit le Québec (voir sous-section 2.5.3) ;
- Des caractéristiques technologiques des processus de fabrication, d'exploitation et de démantèlement (en fin de vie) des systèmes.

Bien qu'aucune méthode particulière ne soit actuellement prescrite par l'ISO, deux critères ayant une influence sur la qualité de l'inventaire ont été choisis pour évaluer les données :

- **Fiabilité** : concerne les sources, les méthodes d'acquisition et les procédures de vérification des données. Une donnée jugée fiable est une donnée vérifiée et mesurée sur le terrain. Ce critère se réfère principalement à la quantification des flux économiques.
- **Représentativité** : traite des corrélations géographique et technologique. Est-ce que l'ensemble des données reflète la réalité? Une donnée est jugée représentative lorsque la technologie est en relation directe avec le champ d'études. Ce critère se rapporte principalement au choix des processus servant à modéliser le système.

Une description plus détaillée des critères et l'évaluation de la qualité des données sont présentées à l'Annexe D.

En parallèle à l'évaluation de la qualité des données utilisées, une estimation de la contribution des processus (c.-à-d. dans quelle mesure les processus modélisés avec ces données contribuent à l'impact global du système à l'étude) a été effectuée. En effet, une donnée de qualité inférieure peut très bien convenir dans le cas d'un processus dont la contribution est minime. Par contre, des données de bonne qualité devront être recherchées pour les processus qui influencent grandement les conclusions de l'étude.

Dans le cadre de cette étude, l'analyse de contribution a consisté à observer l'importance relative des différents processus modélisés à l'impact potentiel global évalué pour chacune des quatre catégories de dommage mentionnées à la section 2.7, ainsi que pour les deux catégories d'impact non caractérisées en dommage.

Les résultats de l'analyse de contribution sont disponibles à l'annexe E.

2.8.3 Analyse de cohérence et de complétude

Tout au long de l'étude, une attention a été portée afin que les systèmes soient représentés de manière conforme à la définition des objectifs et du champ de l'étude. De plus, lors de la collecte de données et de la modélisation, la définition des frontières, les hypothèses et les méthodes ont été appliquées de manière similaire à tous les systèmes.

Il y a donc **cohérence** entre les systèmes étudiés au regard des sources de données, de leur précision, de leur représentativité technologique, temporelle et géographique.

La **complétude** a été assurée grâce à une définition attentive des frontières du système analysé et par une utilisation systématique des règles d'extension et d'imputation. Des analyses de sensibilité ont été effectuées pour vérifier l'effet des hypothèses et des approximations employées.

2.8.4 Analyses de sensibilité

Plusieurs paramètres utilisés lors de la modélisation des systèmes présentent une certaine incertitude, plus particulièrement liée aux hypothèses et modules de données génériques employés. Les résultats obtenus sont liés à ces paramètres et leur incertitude est transférée aux conclusions tirées.

À partir des principaux processus/paramètres contributeurs et d'une évaluation de qualité des données, des analyses de sensibilité ont été effectuées sur les paramètres suivants :

- **Rendement annuel moyen des systèmes solaires photovoltaïques et des systèmes éoliens :** Les performances d'un système peuvent varier considérablement en fonction

des conditions météorologiques au lieu d'exploitation et, dans une moindre mesure, en fonction des spécificités techniques du modèle installé. La sensibilité des résultats à une série de variations dans le rendement énergétique des systèmes évalués a été examinée, allant d'une production faible à élevée pour le type de système évalué. L'utilisation des courbes de puissances en combinaison avec les données météorologiques (passant de inférieures à supérieures à la moyenne) ont permis d'estimer l'énergie totale produite par chaque système de production d'énergies renouvelables. Le logiciel RETScreen (Natural Resources Canada, Internet) a été utilisé pour l'estimation de l'énergie produite (détails à l'Annexe E).

Le Tableau 2-6 présente les intervalles de production énergétique évalués. Pour les systèmes éoliens, une estimation de la production électrique correspondant à des vitesses de vents allant de moins de 3,0 m/s à plus de 8,5 m/s (sur une base moyenne annuelle, à la hauteur de la turbine, soit 10, 22 ou 30 m selon le type) a été réalisée ; des facteurs d'utilisation[3] de 50 % étant jugés le maximum applicable.

Tableau 2-6 : Intervalles de rendements énergétiques évalués

Paramètres	Production électrique annuelle	Facteur d'utilisation
Systèmes éoliens	kWh/an	%
Éolienne de petite puissance de 30 kW	5 000 – 125 000	2 - 48
Éolienne de petite puissance de 10 kW	2 500 – 44 000	3 - 50
Éolienne de petite puissance de 1 kW	500 – 4 400	6 - 50
Systèmes photovoltaïques	kWh/an	
Panneaux solaires photovoltaïques monocristallins 3 kWp*	3 020 – 3 790	11 - 14
Panneaux solaires photovoltaïques polycristallins 3kWp*		

* Note : la production énergétique des panneaux solaires monocristallins et polycristallins de 3 kWp est la même. La performance est plutôt liée au nombre de panneaux installés.

- **Comparaison à différentes sources d'approvisionnement énergétique marginales** : Dans le cas de base, les performances environnementales de l'électricité générée par les systèmes de production décentralisée à petite échelle ont été comparées à celles de l'électricité provenant du réseau d'approvisionnement énergétique d'Hydro-Québec de 2011 (c'est-à-dire comprenant à la fois l'électricité produite, achetée et importée). Or, il est probable que l'électricité générée par les systèmes de production décentralisée ait pour premier effet de réduire la nécessité pour Hydro-Québec d'importer de l'énergie en provenance des territoires voisins, ou de permettre l'exportation de plus d'électricité vers les marchés extérieurs. Une analyse de sensibilité a donc été réalisée afin d'évaluer quels seraient les bénéfices des options évaluées par rapport aux productions marginales d'électricité à partir de centrales au charbon, au mazout et au gaz naturel.

[3] Le facteur d'utilisation (ou facteur de charge) d'une technologie est le rapport entre l'énergie effectivement produite sur une période donnée et l'énergie qu'elle aurait produit si elle avait fonctionné à sa puissance nominale durant la même période.

- **Distance de transport des composantes des systèmes éoliens :** Étant donné l'importance de l'étape de distribution (et principalement du transport des composantes en camion) dans le cycle de vie des éoliennes, une analyse de sensibilité sur la distance parcourue a été effectuée.
- **Lieu de production des panneaux et des cellules photovoltaïques :** Dans le cas de base, il a été considéré que les panneaux photovoltaïques étaient produits en Amérique du Nord (avec un mélange d'approvisionnement électrique moyen pour le continent), avec des cellules importées de l'Europe. Or, il existe des producteurs de panneaux au Canada, notamment en Ontario. Une analyse a donc été réalisée pour évaluer l'effet d'utiliser le *grid mix* ontarien (Tableau 2-7) dans la modélisation de la production des panneaux. Le lieu de production des cellules photovoltaïques a également été modifié pour l'Amérique du Nord afin d'évaluer si cela pouvait modifier les conclusions.

Tableau 2-7 : Mélange d'approvisionnement énergétique ontarien

Mode de génération électrique	Ontario	Amérique du Nord (rappel, pour comparaison)
Charbon	18,4%	44,7%
Pétrole	0,2%	4,4%
Gaz naturel	8,2%	17,3%
Nucléaire	49,0%	19,3%
Hydroélectrique	23,7%	13,6%
Éolien	0,3%	0,3%
Photovoltaïque	< 0,1%	< 0,1%
Biomasse	< 0,1%	< 0,1%

Le total peut différer de 100% à cause de l'arrondissement. Les modes de génération électriques pour lesquels la fraction indiquée est < 0,1% ont été négligés dans la modélisation.

- **Durée de vie des éoliennes :** Dans le cas de base, il a été considéré que les parties mobiles des éoliennes de petite puissance avaient toutes une durée de vie de 20 ans, comme proposé par la base de données *ecoinvent* pour les éoliennes de 30 kW. Il est possible que les éoliennes de plus petite taille, de 1 et 10 kW, ne soient pas en mesure de durer aussi longtemps. Après examen des résultats de la présente étude, il n'a pas été jugé pertinent d'effectuer une analyse de sensibilité sur la réduction de la durée de vie de ces éoliennes, puisque ce paramètre aurait pour effet d'augmenter les impacts potentiels de ces systèmes. Ceci ne ferait qu'accentuer la tendance déjà observée, défavorisant les éoliennes de 1 et 10 kW par rapport aux autres options évaluées.

Les résultats des analyses de sensibilité effectuées sont présentés à la section 3.4.

2.8.5 Analyse d'incertitude

L'incertitude inhérente au modèle ACV est de deux ordres :

- L'incertitude sur les données d'inventaire, évaluée à l'aide d'une analyse de type Monte-Carlo ;
- L'incertitude sur les modèles de caractérisation, qui traduisent l'inventaire en indicateurs environnementaux.

Incertitude sur les données d'inventaire : analyse Monte-Carlo

Une analyse d'incertitude de type Monte-Carlo a été réalisée à l'aide du logiciel SimaPro 7.3 afin de tester la robustesse des résultats. Elle constitue une étude de propagation de la variabilité des données d'inventaire lors des calculs, avec un nombre d'itérations fixé à 1 000.

Sur les milliers de flux élémentaires individuels inventoriés dans les processus élémentaires des scénarios étudiés, la très grande majorité provient de la banque de données *ecoinvent*. Ceux-ci présentent pour la plupart une variabilité qui prend la forme d'une distribution *lognormale* autour de la valeur centrale spécifiée (et utilisée dans les calculs déterministes), caractérisée par son écart-type. Ces variabilités ne sont toutefois pas déterminées statistiquement à l'aide de mesures concrètes, mais estimées par l'application d'une *matrice pedigree* décrivant la qualité d'une donnée selon son origine, son mode de collecte et sa représentativité géographique, temporelle et technologique (Weidema et Suhr Wesnæs, 1996).

De la même manière, la variabilité de la plupart des données collectées a été représentée par une distribution lognormale, dont l'écart-type a été estimé à l'aide de cette même matrice pedigree. Au total, 69 à 71 % des données ont une distribution statistique associée.

La simulation Monte-Carlo procède à la soustraction de deux systèmes que l'on souhaite comparer. Ainsi, les résultats indiquent la probabilité qu'une option ait des indicateurs plus élevés que l'autre.

Pour la présente étude, chacun des systèmes de production décentralisée d'énergie électrique à petite échelle a été comparé au réseau d'Hydro-Québec, sur la base de la production de 1 kWh.

Les résultats de l'analyse d'incertitude ont été considérés lors de l'analyse comparative des résultats des systèmes évalués. Les détails des analyses Monte-Carlo effectuées sont disponibles à l'Annexe E.

Incertitude sur les modèles de caractérisation

L'incertitude sur les modèles de caractérisation, qui traduisent l'inventaire en indicateurs environnementaux, a été estimée à partir des lignes directrices proposées par les auteurs de la méthode IMPACT 2002+ (Humbert et coll., 2009). Ceux-ci établissent des seuils de significativité pour différentes catégories d'impact, en deçà desquels il n'est pas possible de conclure quant à la meilleure performance environnementale d'une option sur une autre :

- 10 % en termes de changement climatique, d'énergie non renouvelable et d'utilisation des ressources ;
- 30 % en termes d'effets respiratoires dus aux substances inorganiques (santé humaine), d'acidification et d'eutrophisation ;

- Un ou deux ordres de magnitude en termes d'effets toxicologiques et écotoxicologiques. Ce seuil est notamment employé pour l'indicateur de dommage *Qualité des écosystèmes.*

Ces lignes directrices dépendent toutefois de la corrélation entre les systèmes comparés; deux systèmes similaires présentant des écarts inférieurs à ceux exposés ci-dessus peuvent donc être considérés comme significativement différents. L'interprétation proposée au chapitre 3 prend donc en compte ces différents aspects.

2.9 Revue critique

Parce que les résultats de cette étude doivent être divulgués publiquement et sont destinés à supporter une affirmation comparative, une revue critique a été réalisée par un comité d'experts indépendants, c'est-à-dire composé d'un spécialiste ACV et de deux autres spécialistes des domaines impliqués dans l'étude (Tableau 2-8).

Tableau 2-8 : Membres constituants du comité de revue critique

Nom	Organisme d'attache	Implication / Champ d'expertise
Gontran Bage, ing. Ph.D.	À l'emploi de Dessau au moment d'initier la revue critique	Président du comité de revue, expert ACV
Antoine Lacroix, ing., M.Sc.	CanmetÉnergie – Ressources naturelles Canada	Réviseur, énergie éolienne
Yves Poissant, Ph.D.	CanmetÉnergie – Ressources naturelles Canada	Réviseur, technologies photovoltaïques

Conformément aux normes ISO 14 040 et 14 044 (2006a, b), les objectifs de la revue critique sont d'assurer que :

- Les méthodes utilisées par le CIRAIG pour réaliser l'analyse du cycle de vie sont :
    - cohérentes avec la norme internationale ISO 14040 ;
    - valables d'un point de vue technique et scientifique ;
    - appropriées et raisonnables par rapport à l'objectif de l'étude ;
- Les interprétations du CIRAIG reflètent les limitations identifiées et l'objectif de l'étude ;
- Le rapport détaillé est transparent et cohérent.

Le processus de revue critique a été réalisé en quatre temps :

1. Révision du rapport final de l'étude par le comité;
2. Correction et précision des éléments soulevés par les réviseurs;
3. Retour du rapport modifié aux réviseurs pour validation de la conformité ISO 14 044;
4. Dépôt du rapport final révisé au mandataire.

Les commentaires des réviseurs, les réponses aux éléments soulevés et le rapport de revue font l'objet de l'Annexe F.

3 Résultats et discussion

Ce chapitre couvre les deux dernières phases de l'ACV : c'est-à-dire l'évaluation des impacts du cycle de vie (ÉICV) des systèmes étudiés et l'interprétation des résultats, conformément au cadre méthodologique présenté aux sections 2.7 et 2.8. Il présente le profil environnemental des systèmes à l'étude, leur comparaison, de même que différentes études de sensibilités et une analyse de la qualité des données. Les résultats comprennent les quatre catégories de dommages (*Santé humaine* (SH), *Qualité des écosystèmes* (QÉ), *Changement climatique* (CC), *Ressources* (R)) et les deux catégories d'impacts *Acidification aquatique* (AA) et *Eutrophisation aquatique* (EA) de la méthode d'évaluation IMPACT 2002+.

3.1 Profil environnemental des systèmes

Le premier objectif de l'étude était d'établir le profil environnemental de systèmes génériques de production décentralisée d'énergie électrique. Tous les processus modélisables ont donc été inclus au modèle. Les résultats d'indicateurs d'IMPACT 2002+ cités plus haut ont servi à identifier les processus et paramètres qui contribuent le plus aux impacts potentiels des différents systèmes (c.-à-d. à identifier les points chauds du cycle de vie de chacune des technologies).

Mais avant tout, le profil environnemental du système de référence, soit l'électricité distribuée par le réseau d'Hydro-Québec, est présenté afin que les analyses comparatives qui suivent puissent être interprétées de manière plus éclairée.

3.1.1 Système de référence

La Figure 3-1 présente les contributions relatives de chacune des étapes du cycle de vie de la production d'électricité et de sa distribution par Hydro-Québec.

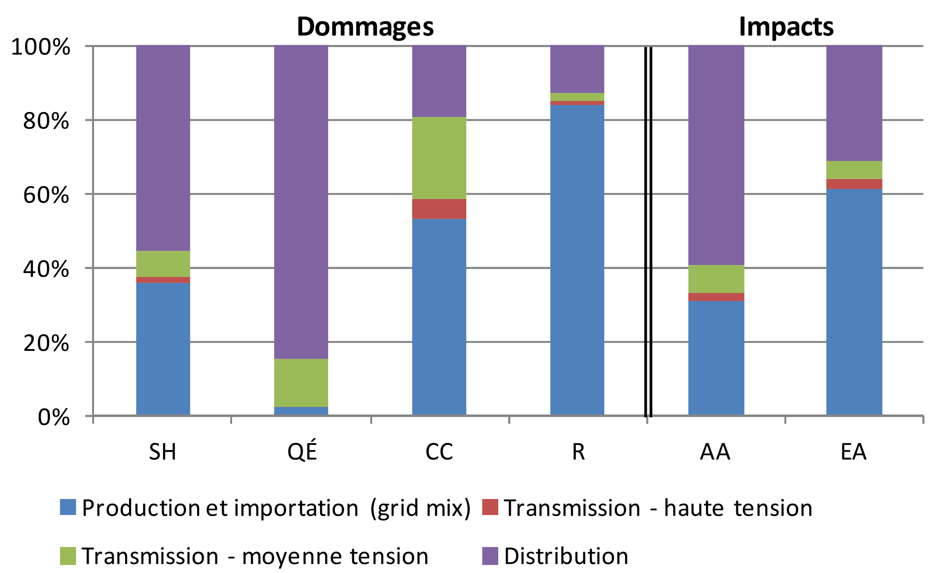


Figure 3-1 : Contributions environnementales relatives des étapes du cycle de vie du système de référence – réseau Hydro-Québec (IMPACT 2002+).

Il en ressort que la transmission d'électricité à haute tension contribue faiblement aux scores des indicateurs environnementaux, alors que les étapes de production et de distribution d'électricité se partagent la grande majorité des impacts environnementaux potentiels.

L'indicateur *Santé humaine* est affecté à 37 % par l'étape de production électrique, et plus particulièrement par les émissions des centrales électriques au charbon (particules, SO_2, NO_x) opérées par les territoires voisins d'où Hydro-Québec importe de l'énergie. L'étape de distribution contribue également à 54 % de l'indicateur, à cause de la production de cuivre pour les câbles et de l'arsenic employé dans le traitement des poteaux.

La *Qualité des écosystèmes* est influencée à 84 % par l'étape de distribution, à cause de la lixiviation des produits de préservation des poteaux de bois (chrome et cuivre) et de la production des câbles de distribution. Les métaux émis (Cr, Cu) par le réseau de transmission moyenne tension influencent également cet indicateur, mais dans une moindre mesure (13 %). Il faut noter que les modèles d'évaluation employés pour caractériser les émissions toxiques ont tendance à surestimer les impacts potentiels des métaux émis au sol. Les incertitudes quant aux résultats de l'indicateur *Qualité des écosystèmes* sont donc importantes.

Pour l'indicateur *Changement climatique*, 54 % des impacts potentiels est associé à la production d'électricité à partir de sources fossiles (charbon, gaz naturel) qui ont lieu à l'extérieur du Québec, alors que la transmission moyenne tension et la distribution comptent pour 22 et 18 % respectivement, à cause des émissions d'hexafluorure de soufre (SF_6) et de la production des métaux employés pour la construction des réseaux.

Les indicateurs *Ressources, Acidification aquatique* et *Eutrophisation aquatique* sont influencés à 84, 32 et 63 % par l'étape de production d'électricité, dominée par les centrales opérées à l'extérieur du Québec. L'extraction d'uranium, de charbon et de gaz naturel et les émissions de combustion du charbon sont les principaux éléments qui influencent la contribution de l'étape de production. L'étape de distribution affecte également l'indicateur *Acidification aquatique* (58 %), à cause de la production de cuivre pour les câbles.

3.1.2 Systèmes éoliens

Cette sous-section regroupe les résultats d'analyse des trois systèmes éoliens, soit les systèmes éoliens de petite puissance de 30 kW, de 10 kW et de 1 kW. Leurs profils environnementaux très semblables font en sorte que l'interprétation qui en découle s'applique aux trois. La Figure 3-2 présente les contributions relatives de chacune des étapes du cycle de vie à l'impact global engendré par les systèmes éoliens.

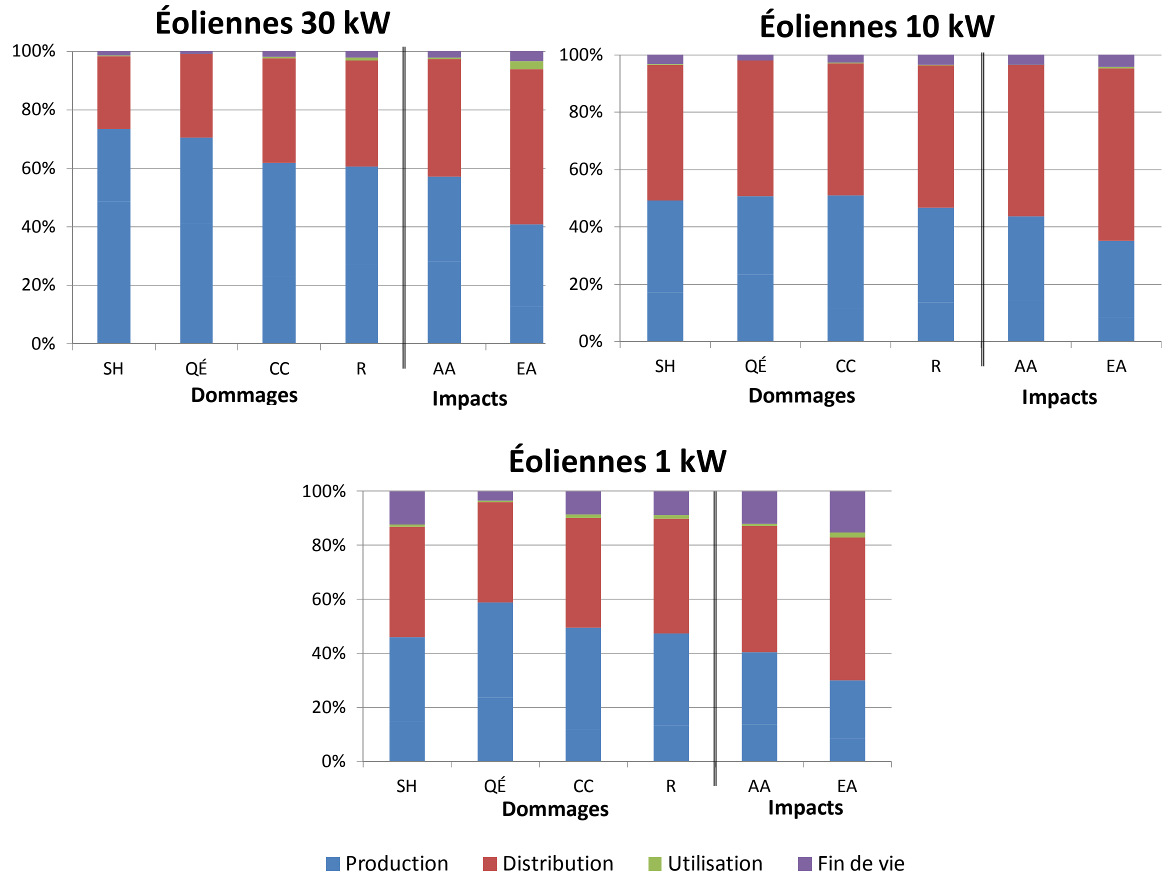


Figure 3-2 : Contributions environnementales relatives des étapes du cycle de vie des systèmes éoliens de petite puissance (IMPACT 2002+).

L'analyse des systèmes fait ressortir que :

- Les étapes de production et de distribution dominent nettement le profil des six indicateurs considérés;
- L'étape d'utilisation engendre une part négligeable des impacts potentiels dans toutes les catégories d'indicateurs;
- L'étape de fin de vie est responsable d'une faible part (moins de 15%) des impacts potentiels dans toutes les catégories d'indicateurs.

Étape de production

Dans les six catégories d'indicateurs, l'étape de production des composantes accapare entre 35% et 73% des impacts potentiels. La production est divisée entre la partie mobile (production de la nacelle, du rotor. des composantes de raccordement et de l'onduleur pour les éoliennes de 1 et 10 kW) et la partie fixe (production de la tour et de sa fondation).

Afin d'identifier les paramètres clés des systèmes éoliens de petite puissance, une analyse plus détaillée de la contribution de leurs composantes aux impacts potentiels de l'étape de production a été effectuée (Tableau 3-1).

Tableau 3-1 : Contribution des composantes des éoliennes aux impacts potentiels de l'étape de production

Indicateur (IMPACT 2002+)	Tour	Fondation	Rotor	Nacelle	Raccorde-ment	Onduleur
Éolienne de 30 kW						
Santé humaine	18%	15%	5%	17%	**44%**	s/o
Qualité des écosystèmes	26%	15%	5%	24%	**30%**	s/o
Changement climatique	27%	**36%**	9%	20%	8%	s/o
Ressources	**27%**	**28%**	10%	22%	13%	s/o
Acidification aquatique	22%	**28%**	7%	19%	25%	s/o
Eutrophisation aquatique	25%	**44%**	9%	15%	7%	s/o
Éolienne de 10 kW						
Santé humaine	15%	**50%**	4%	13%	8%	11%
Qualité des écosystèmes	17%	**38%**	3%	13%	14%	16%
Changement climatique	12%	**65%**	4%	8%	2%	8%
Ressources	14%	**57%**	5%	10%	4%	10%
Acidification aquatique	11%	**56%**	3%	8%	9%	13%
Eutrophisation aquatique	9%	**66%**	4%	5%	2%	13%
Éolienne de 1 kW						
Santé humaine	**37%**	31%	3%	10%	6%	12%
Qualité des écosystèmes	**38%**	22%	2%	10%	11%	17%
Changement climatique	33%	**44%**	4%	7%	2%	10%
Ressources	**36%**	**36%**	5%	8%	3%	12%
Acidification aquatique	29%	**37%**	3%	7%	8%	16%
Eutrophisation aquatique	26%	**46%**	3%	5%	2%	18%

Il ressort que la partie fixe compte pour une part assez importante des impacts potentiels de l'étape de production des systèmes : dans le cas de l'éolienne de 30kW, la fabrication de la tour de 22 m et de sa base contribue de 34 à 69% aux impacts potentiels de l'étape de production. Pour l'éolienne de 10 kW, la tour de 30 m et sa fondation comptent pour 54 à 77% de l'étape de production, selon l'indicateur considéré. Enfin, pour l'éolienne de 1 kW, la tour de 10 m et sa base contribuent de 60 à 76% à l'étape de production.

Pour les parties mobiles :

- la nacelle (acier inoxydable) et les raccordements (cuivre et PVC) sont les principaux contributeurs à l'ensemble des indicateurs pour l'éolienne de 30 kW;
- pour les éoliennes de 1 et 10 kW, les impacts sont répartis de manière peu marquée entre la nacelle (acier inoxydable), les raccordements (cuivre et PEHD) et l'onduleur (cuivre, composantes électroniques).

Étape de distribution

Pour tous les systèmes, l'étape de distribution inclut le transport, l'installation et le raccordement des composantes. Dans toutes les catégories évaluées, l'étape de distribution contribue à 25 à 60% des impacts totaux : plus des deux tiers sont attribuables au transport par camion entre le site du manufacturier et le site d'installation. Une distance de 1 500 km (correspondant à un transport entre les États-Unis et le Québec) a été posée entre ces deux derniers. Pour l'indicateur *Ressources*, 80% des impacts sont engendrés par la production du diesel nécessaire au transport par camion. Étant donné l'importance de cette étape, une analyse de sensibilité sur la distance de transport des composantes a été effectuée (sous-section 3.4.4).

Il est à noter que dans le cas de l'éolienne de 10 kW, l'étape d'installation/distribution est plus importante par kWh produit, car c'est l'éolienne qui a la tour la plus haute (30 m) et donc une tour et une fondation plus lourdes à transporter et exigeant plus d'énergie à installer.

Étape d'utilisation

L'étape d'utilisation engendre une part négligeable (au maximum 3 %) des impacts potentiels dans toutes les catégories d'indicateurs. Cette faible contribution est expliquée par le peu d'entretien nécessaire lors de l'opération des éoliennes, à savoir le changement de l'huile de lubrification des parties mobiles et le déplacement du personnel d'entretien. Aucune consommation électrique n'est par ailleurs nécessaire pour opérer les éoliennes.

Étape de fin de vie

L'étape de fin de vie des systèmes ne contribue que faiblement (au maximum 15 %) à l'impact total des systèmes éoliens. Il est à rappeler que le recyclage des métaux est exclu. Ce dernier est considéré comme faisant partie d'un autre système (approche *cut-off*). Pour les parties non métalliques (des plastiques et autres matériaux inclus), l'enfouissement a été considéré. La contribution relative de l'étape de fin de vie est légèrement plus importante dans le cas de l'éolienne de 1 kW, car il a été considéré que l'énergie (diesel consommé) pour le démantèlement de la tour est la même peu importe sa taille.

Analyse des paramètres clés

Les paramètres clés qui ressortent ici sont la puissance et la durée de vie des composantes. La nature et la masse de ces composantes influencent également le bilan environnemental des éoliennes, en lien avec leur fabrication. Une attention particulière devrait aussi être portée à l'étape de distribution par camion des composantes jusqu'au site d'installation, sachant que leur distance de transport influence de manière non négligeable les impacts environnementaux potentiels.

3.1.3 Systèmes solaires photovoltaïques

Cette sous-section regroupe les résultats d'analyse des deux types de systèmes solaires photovoltaïques, soit les systèmes solaires photovoltaïques monocristallins de 3 kWp et les systèmes solaires photovoltaïques polycristallins de 3 kWp. Leurs profils environnementaux très semblables permettent en effet que l'interprétation qui en découle s'applique aux deux.

La Figure 3-3 présente les contributions relatives de chacune des étapes du cycle de vie à l'impact global engendré par ces systèmes.

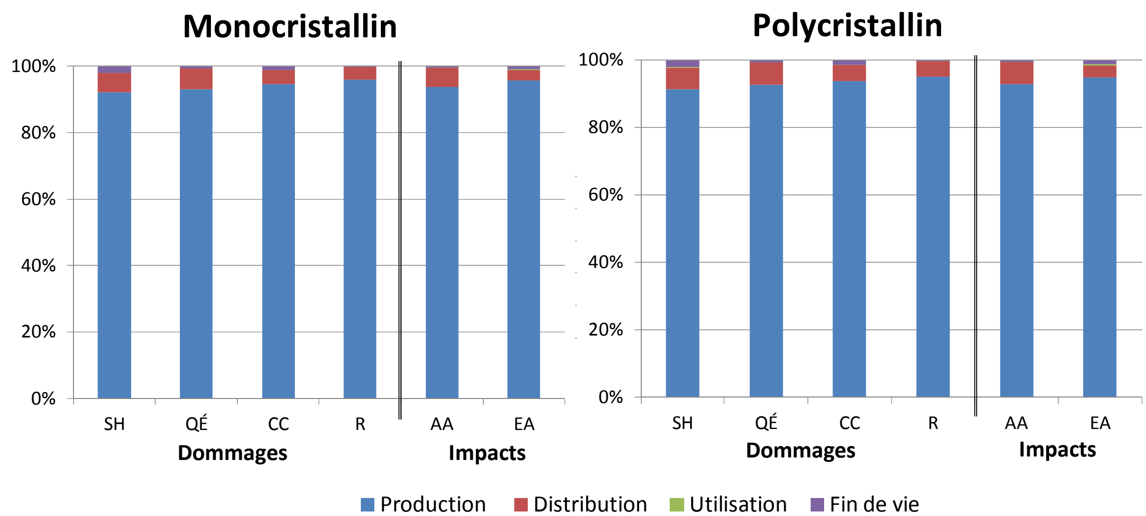


Figure 3-3 : Contribution environnementale des étapes du cycle de vie des systèmes solaires photovoltaïques de 3 kWp (IMPACT 2002+).

L'analyse des systèmes fait ressortir que :

- L'étape de production domine le profil des six indicateurs considérés;
- Les étapes de distribution, d'utilisation et de fin de vie des systèmes contribuent de manière négligeable ou imperceptible au profil pour l'ensemble des indicateurs.

Étape de production

L'importance de l'étape de production sur les indicateurs *Santé humaine* (91 à 92%), *Qualité des écosystèmes* (93%), *Changement climatique* (93 à 95%), *Ressources* (95 à 96%), *Acidification aquatique* (93 à 94%) et *Eutrophisation aquatique* (95 à 96%) est en majeure partie attribuable aux activités de fabrication du panneau solaire photovoltaïque et de la monture d'installation.

Afin d'identifier les paramètres clés des systèmes photovoltaïques, une analyse plus détaillée de la contribution de leurs composantes aux impacts potentiels de l'étape de production a été effectuée (Tableau 3-2).

Tableau 3-2 : Contribution des composantes des panneaux photovoltaïques aux impacts potentiels de l'étape de production

Indicateur (IMPACT 2002+)	Panneau	Onduleur	Raccordement	Monture
Panneau photovoltaïque monocristallin				
Santé humaine	77%	2%	1%	20%
Qualité des écosystèmes	77%	5%	1%	17%
Changement climatique	84%	1%	0%	15%
Ressources	87%	1%	0%	12%
Acidification aquatique	82%	2%	0%	15%
Eutrophisation aquatique	95%	1%	0%	5%
Panneau photovoltaïque polycristallin				
Santé humaine	73%	2%	1%	23%
Qualité des écosystèmes	75%	5%	1%	19%
Changement climatique	80%	1%	0%	18%
Ressources	84%	1%	0%	15%
Acidification aquatique	79%	2%	1%	18%
Eutrophisation aquatique	93%	1%	0%	6%

La production du panneau solaire photovoltaïque compte pour plus de 73 % de tous les indicateurs, tant pour les systèmes monocristallins que polycristallins. Les éléments qui contribuent le plus fortement aux scores du panneau sont la cellule photovoltaïque (à plus de 60%), le cadre d'aluminium (jusqu'à 13%) et le verre solaire (jusqu'à 17%).

La monture d'installation (et plus particulièrement la production et la transformation de l'aluminium et, dans une moindre mesure l'acier) est le deuxième élément ayant une contribution significative sur l'étape de production. L'onduleur et les composantes de raccordement ont un apport négligeable.

Globalement, la prépondérance de l'étape de production dans toutes les catégories d'indicateurs s'explique en grande partie par le fait que l'énergie d'arrière-plan employée pour la production des composantes – et plus particulièrement les cellules photovoltaïques – provient de sources fossiles (tel le mélange d'approvisionnement européen comprenant du charbon, du gaz naturel, etc.). Celles-ci sont très riches en carbone et leurs procédés de transformation sont émetteurs de nombreux et importants polluants (atmosphériques et hydriques notamment).

Une analyse de sensibilité modifiant le lieu de production des panneaux et des cellules photovoltaïques a été réalisée (sous-section 3.4.5).

Étape de distribution

Pour tous les systèmes, l'étape de distribution inclut le transport, l'installation et le raccordement des composantes à la résidence. Pour tous les systèmes, cela n'implique pas de

travaux importants ou énergivores. La contribution de l'étape de distribution au score total (soit entre 3 et 7% dans toutes les catégories d'indicateurs) est attribuable au transport des principales composantes vers le lieu d'installation.

Étape d'utilisation

Tel que c'était également le cas pour les systèmes éoliens, la part des résultats d'indicateurs associée à l'étape d'utilisation ne domine pas les profils d'impacts.

En effet, l'étape d'utilisation ressort partout avec une contribution ne dépassant pas 0,4% pour les deux systèmes photovoltaïques. Aucune consommation électrique n'est par ailleurs nécessaire pour opérer ces systèmes solaires.

Étape de fin de vie

L'étape de fin de vie contribue entre 0 et 3% des impacts potentiels, selon tous les indicateurs. La contribution de cette étape du cycle de vie aux impacts totaux s'avère donc négligeable et ne constitue pas un point chaud du cycle de vie des systèmes solaires photovoltaïques. Comme pour les systèmes solaires, le recyclage des métaux est exclu. Ce dernier est considéré comme faisant partie d'un autre système (approche *cut-off*). Pour les parties non métalliques (des plastiques et autres matériaux inclus), l'enfouissement a été considéré.

Analyse des paramètres clés

Les paramètres clés qui ressortent ici sont la durée de vie et le lieu de fabrication des cellules photovoltaïques (soit la nature de l'énergie utilisée pour leur production). Il y aurait lieu de privilégier des fabricants de cellules localisés au Québec où dans des endroits ayant une faible dépendance aux énergies fossiles.

3.2 Comparaison environnementale des systèmes sur la base de la production de 1 kWh d'énergie

Le deuxième objectif de l'étude était de comparer les systèmes de production décentralisée d'énergie électrique entre eux et avec le réseau provincial d'Hydro-Québec. Les résultats d'indicateurs (*Santé humaine*, *Qualité des écosystèmes*, *Changement climatique*, *Ressources*, *Acidification aquatique* et *Eutrophisation aquatique*) sont présentés de manière relative, en employant l'approvisionnement électrique d'Hydro-Québec comme référence (100%).

La Figure 3-4 présente la comparaison des systèmes à l'étude sur la base de la production de 1 kWh d'énergie électrique, tel que défini par l'unité fonctionnelle.

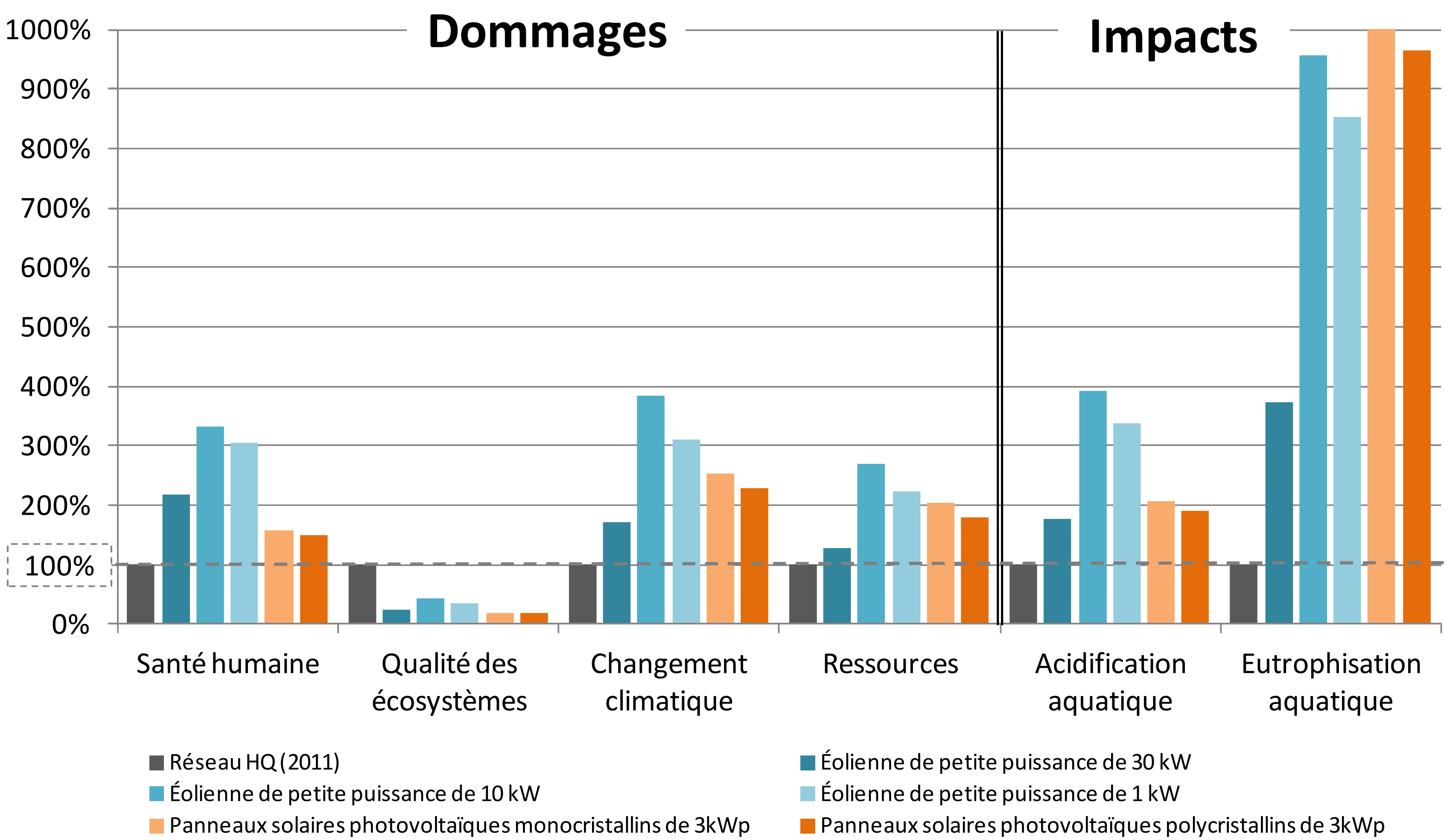


Figure 3-4 : Comparaison environnementale des systèmes à l'étude par rapport au kWh d'électricité distribué par Hydro-Québec (IMPACT 2002+).

L’analyse des systèmes fait ressortir que :

- les impacts potentiels des éoliennes de petite puissance ont la même tendance pour tous les indicateurs : le système de 30 kW est celui qui présente le moins d’impacts (avec un bénéfice variant de 29% à 61% par rapport aux autres puissances) alors que le système à 10 kW obtient les résultats les plus élevés (de 8 à 61% par rapport aux autres puissances). Pour cette comparaison, même les faibles différences ont été considérées significatives, vu le haut niveau de corrélation entre les systèmes éoliens;
- les impacts environnementaux potentiels entre les panneaux solaires de type monocristallins et polycristallins ne sont pas très différents. Cette différence varie entre 1% pour l’indicateur *Qualité des Écosystèmes* et 14% pour les indicateurs *Ressources* et *Eutrophisation aquatique*. Il en ressort donc que, toutes proportions gardées, les deux systèmes photovoltaïques présentent des profils semblables;
- le réseau d’Hydro-Québec (qui correspond à la valeur de 100 % présenté à la Figure 3-4) est favorisé par rapport aux cinq systèmes de production d’énergie renouvelable évalués selon les indicateurs *Santé humaine, Changement climatique, Ressources, Acidification aquatique* et *Eutrophisation aquatique*.
- par rapport au réseau d’Hydro-Québec, l’indicateur *Qualité des écosystèmes* favorise tous les systèmes de production décentralisée d’énergie électrique, à cause des émissions toxiques au sol potentiellement engendrées par le réseau de distribution du système de référence (poteaux de bois traité). Cependant, comme mentionné à la sous-section 3.1.1, les modèles de caractérisation actuellement disponibles ont tendance à surestimer l’impact potentiel des métaux émis au sol, engendrant d’importantes incertitudes pour cet indicateur. Une différence d’un ou deux ordres de magnitude est généralement souhaitée pour affirmer avec confiance qu’une option est préférable à une autre pour les impacts de nature écotoxicologique. Afin de tester la robustesse des résultats de cette catégorie de dommage, une analyse de sensibilité avec une seconde méthode d’évaluation a été réalisée (détail à la sous-section 3.4.1) et a montré que les tendances observées sont inversées entre les deux méthodes. Il n’est donc pas possible de conclure sur la base de l’indicateur *Qualité des écosystèmes* et pour ne pas apporter de confusion, il a été choisi de retirer cet indicateur pour la suite de l’analyse.

Comme mentionné précédemment, il est possible que les éoliennes de 1 et 10 kW aient une durée de vie plus courte que celle de 20 ans estimée dans la modélisation de ces systèmes. Si tel était le cas, la production d’un kWh par ces éoliennes aurait plus d’impact potentiel que ceux évalués présentement, du fait que les pièces et composantes devraient être changées plus souvent. Pour cinq des six indicateurs environnementaux présentés, le réseau d’Hydro-Québec est déjà favorisé par rapport aux éoliennes de 1 et 10 kW; le fait de réduire leur durée de vie ne modifierait donc pas la tendance observée.

Notons que la section 3.5 résume les résultats de l’ensemble des analyses réalisées, incluant les analyses de sensibilité qui suivent, afin de mieux cerner les conditions qui confirment ou qui modifient ces conclusions.

Globalement, on retient que…

Dans un contexte de conditions climatiques moyennes représentatives du Québec et sur la base de la production de 1 kWh d'électricité :

- Les éoliennes de petite puissance de 30 kW présentent une meilleure performance environnementale que les éoliennes de 10 et de 1 kW.
- Les panneaux photovoltaïques de type monocristallins et polycristallins présentent des profils environnementaux similaires.
- La comparaison environnementale des cinq systèmes de production d'énergie renouvelable favorise l'éolienne de 30 kW selon les catégories Changement climatique, Ressources, et Eutrophisation aquatique, alors que l'indicateur Santé humaine favorise les panneaux solaires et que les indicateurs Qualité des écosystèmes et Acidification aquatique ne permettent pas de trancher entre l'éolienne de 30 kW et les panneaux photovoltaïques. En fonction de l'importance relative accordée aux différentes catégories évaluées, les décideurs peuvent donc choisir l'un ou l'autre des systèmes de production décentralisée d'énergie électrique.
- Le kWh distribué par le réseau d'Hydro-Québec est favorisé par rapport aux cinq systèmes de production décentralisée d'énergie évalués selon les indicateurs Santé humaine, Changement climatique, Ressources, Acidification aquatique et Eutrophisation aquatique.
- Les émissions de métaux au sol, engendrées par les poteaux de bois traité du réseau de distribution, présentent un impact potentiellement important. Il n'est cependant pas possible de les évaluer avec les modèles de caractérisation actuels.

3.3 Qualité des données d'inventaire

Les résultats de l'analyse de la qualité des données d'inventaire sont résumés à l'Annexe D du présent rapport.

À partir de ces analyses, il est possible de constater que dans l'ensemble, les données employées pour l'analyse sont jugées acceptables. Celles-ci permettent en effet de fournir une vue d'ensemble des systèmes évalués, même si aucune collecte de données primaires (auprès des producteurs et fournisseurs de systèmes de production d'énergie électrique décentralisée à petite échelle) n'a été réalisée dans le cadre de ce projet.

Dans l'ensemble, pour augmenter la robustesse des résultats de la présente étude, il faudrait tout de même procéder à une collecte de données spécifiques auprès des acteurs du milieu au Québec.

3.4 Analyses de sensibilité

Cinq analyses de sensibilité ont été effectuées pour vérifier l'influence des hypothèses de modélisation sur les conclusions de l'étude. Les résultats détaillés sont présentés à l'Annexe E.

3.4.1 Évaluation des impacts avec la méthode ReCiPe

Comme mentionné précédemment, l'évaluation des impacts du cycle de vie a été réalisée avec la méthode ReCiPe (Goedkoop et coll., 2009), afin de vérifier si la variabilité des modèles de caractérisation avait une influence significative sur les conclusions et donc, de tester la robustesse des résultats obtenus à partir d'IMPACT 2002+.

La Figure 3-5 présente la comparaison environnementale des systèmes par rapport au kWh du réseau d'Hydro-Québec selon les indicateurs de dommage de la méthode ReCiPe. Le Tableau 3-3 résume les résultats divergents entre les deux méthodes pour certaines catégories d'impact (résultats non présentés dans le corps du rapport, mais disponibles à l'Annexe E).

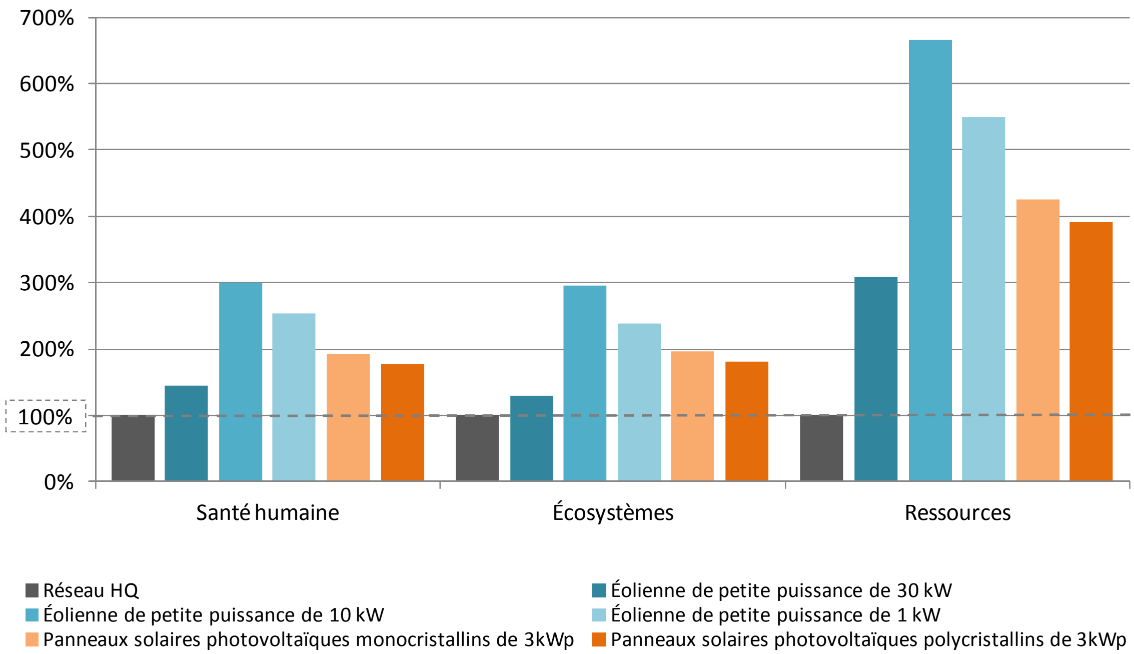


Figure 3-5 : Comparaison environnementale des systèmes à l'étude par rapport au kWh d'électricité distribué par Hydro-Québec (méthode ReCiPe).

Globalement, cette analyse confirme la tendance voulant que le réseau d'Hydro-Québec présente généralement moins d'impacts potentiels que les panneaux solaires photovoltaïques et que les éoliennes petites puissances. Notamment, l'indicateur *Ecosystèmes* de ReCiPe ne défavorise pas l'énergie du réseau comme c'est le cas pour IMPACT 2002+.

L'analyse plus détaillée présentée au Tableau 3-3 permet également une mise en perspective des résultats obtenus par IMPACT 2002+. Il en ressort qu'il y a une surestimation potentielle des impacts liés à l'***Écotoxicité aquatique*** et à l'***Écotoxicité terrestre*** pour le système de référence. Il est également possible qu'IMPACT 2002+ sous estime les impacts potentiels des panneaux photovoltaïques en ne tenant pas compte des émissions d'argent (en *Écotoxicité terrestre)*. Enfin, l'occupation et la transformation des terres ne sont que partiellement caractérisés par IMPACT 2002+. Rappelons que ces trois catégories d'impact sont agrégées dans l'indicateur *Qualité des écosystèmes.*

Tableau 3-3 : Comparaison des résultats d'évaluation des impacts du cycle de vie (ÉICV) divergents entre les méthodes IMPACT 2002+ et ReCiPe

Catégorie d'impact	Différences observées	Explication
Carcinogens et Non Carcinogens (IMPACT 2002+) / Human Toxiciy (ReCiPe) Inclus dans la catégorie de dommage *Santé humaine*	Selon IMPACT 2002+, les turbines éoliennes de petite puissance de 30 kW présentent plus d'impacts potentiels que l'énergie provenant du réseau d'Hydro-Québec selon les catégories « Cancer » et « Non cancer ». Par contre, ReCiPe présente un résultat favorisant la turbine de 30 kW pour l'indicateur « Toxicité humaine » (inversion de tendance). En ce qui a trait aux turbines de 1 et 10 kW, les deux méthodes montrent que le système est semblable au réseau selon cette catégorie d'impact.	Pour IMPACT 2002+, ce sont les émissions de dioxines et d'hydrocarbures aromatiques à l'air qui contribuent à plus de 80% à l'indicateur « Cancer » des turbines éoliennes. Pour l'indicateur « non cancer », les émissions de dioxines et également d'arsenic à l'air et à l'eau ressortent comme principaux contributeurs. Pour ReCiPe, se sont plutôt les émissions de plomb, arsenic et mercure à l'air qui contribuent majoritairement à l'impact potentiel.
Aquatic ecotoxicity (IMPACT 2002+) / Freshwater ecotoxicity (ReCiPe) Inclus dans la catégorie de dommage *Qualité des écosystèmes / Ecosystème*	Selon IMPACT 2002+, tous les systèmes évalués présentent un bénéfice potentiel en écotoxicité aquatique par rapport à l'énergie du réseau. Selon ReCiPe, tous les systèmes évalués présentent des impacts potentiels nets beaucoup plus importants que l'énergie du réseau (inversion de tendance).	Pour l'indicateur *Écotoxicité aquatique*, des différences fondamentales prévalent entre les deux approches de modélisation des métaux. Ainsi, avec IMPACT 2002+, le profil de l'indicateur est dominé par des émissions de cuivre et de chrome par les poteaux des réseaux de distribution d'Hydro-Québec. Avec ReCiPe, le profil est dominé par des émissions de nickel, de vanadium et de cobalt à l'eau. La divergence entre les deux séries de résultats découle donc des différences entre les hypothèses à la base des modèles de caractérisation des métaux. Notons par ailleurs que l'ensemble des modèles actuellement disponibles et utilisés en ÉICV sont reconnus comme étant très peu robustes eut égard à la caractérisation de métaux émis à l'environnement.
Terestrial ecotoxicity Inclus dans la catégorie de dommage *Qualité des écosystèmes / Ecosystème*	Selon IMPACT 2002+, tous les systèmes évalués présentent un bénéfice potentiel en écotoxicité terrestre par rapport à l'énergie du réseau. Selon ReCiPe, les systèmes photovoltaïques évalués présentent des impacts potentiels nets beaucoup plus importants que l'énergie du réseau (inversion de tendance).	Pour les panneaux photovoltaïques, l'indicateur *Écotoxicité terrestre* est presque entièrement dominé (à 94%) par les émissions d'argent à l'air dans la méthode ReCiPe. Or, cette substance n'est pas caractérisée dans la méthode IMPACT 2002+, qui identifie plutôt l'aluminium comme premier contributeur (à 33%). Par ailleurs les émissions de cuivre et de chrome provenant des poteaux du réseau de distribution d'Hydro-Québec ressortent comme deux contributeurs majeurs à l'impact *Écotoxicité terrestre* dans la méthode IMPACT 2002+, alors que seul le cuivre ressort dans l'évaluation de ReCiPe.

Land occupation (IMPACT 2002+) / Agricultural land occupation et Urban land occupation (ReCiPe) Inclus dans la catégorie de dommage *Qualité des écosystèmes / Ecosystème*	Selon IMPACT 2002+, tous les systèmes évalués présentent un impact potentiel lié à l'occupation des terres plus important que celui lié à l'énergie du réseau. Selon ReCiPe, les systèmes éoliens évalués présentent des impacts potentiels nets moins importants que l'énergie du réseau (inversion de tendance dans la catégorie « Agricultural land occupation » seulement).	Les modèles employés par les deux méthodes sont très différents. Certains flux ne sont pas caractérisés dans IMPACT 2002+. Il est donc possible que l'impact potentiel lié à la production hydroélectrique soit sous-estimée par l'évaluation réalisée.

3.4.2 Rendement annuel moyen des systèmes solaires photovoltaïques et des systèmes éoliens

Rappel : Les performances d'un système peuvent varier considérablement en fonction des conditions météorologiques au lieu d'exploitation et, dans une moindre mesure, en fonction des spécificités techniques du modèle installé. La sensibilité des résultats à une série de variations dans le rendement énergétique des systèmes évalués a été examinée, allant d'une production faible à élevée pour le type de système évalué. L'utilisation des courbes de puissances en combinaison avec les données météorologiques (passant de inférieures à supérieures à la moyenne) ont permis d'estimer l'énergie totale produite par chaque système de production d'énergies renouvelables. Le logiciel RETScreen (Natural Resources Canada, Internet) a été utilisé pour l'estimation de l'énergie produite (détail à l'Annexe E).

Les résultats obtenus sont présentés à la Figure 3-6 et à la Figure 3-7 pour les systèmes éoliens et photovoltaïques respectivement. Les courbes correspondent aux six indicateurs environnementaux (IMPACT 2002+) retenus et illustrent la performance de chacun des systèmes de production décentralisée par rapport au réseau d'Hydro-Québec.

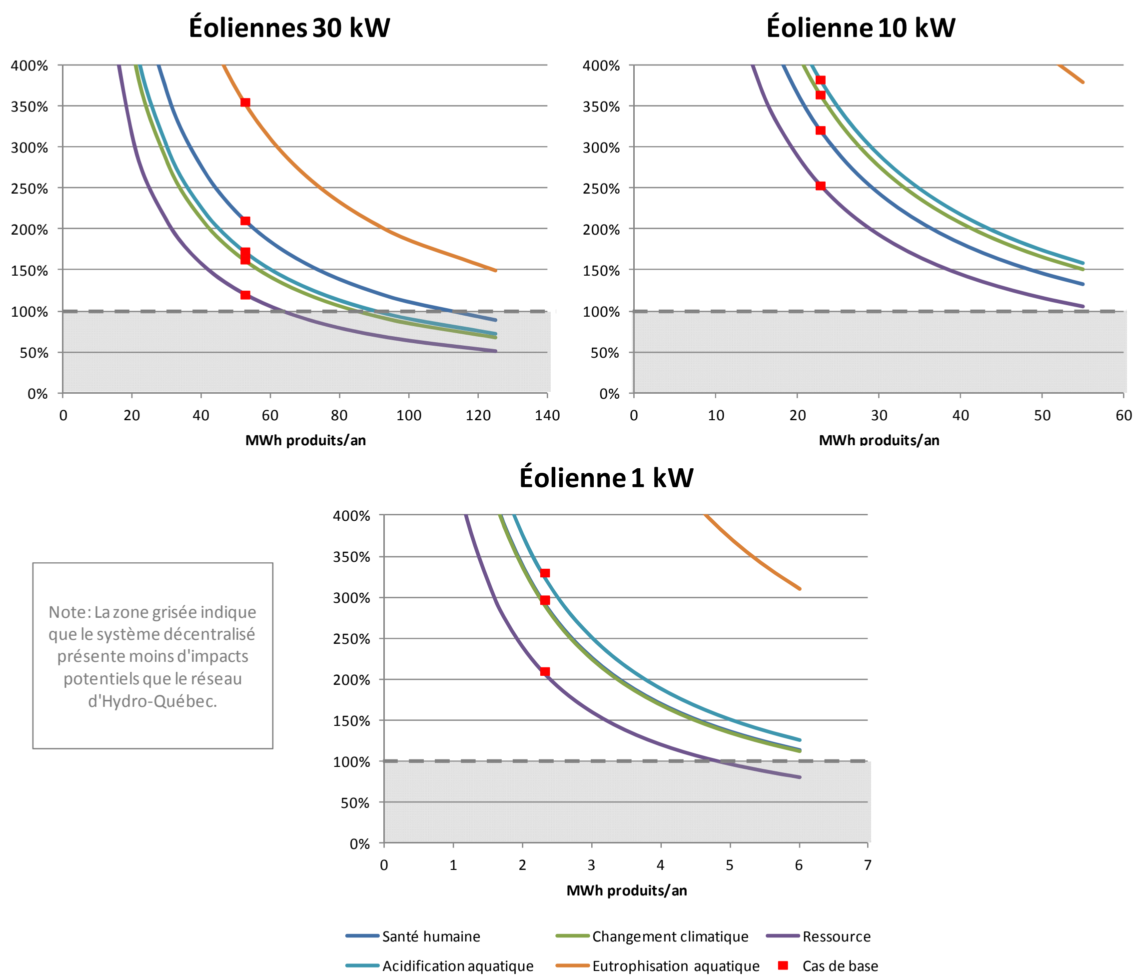


Figure 3-6 : Comparaison environnementale des éoliennes en fonction de leur rendement annuel moyen, par rapport au kWh d'électricité distribué par Hydro-Québec (IMPACT 2002+).

Il ressort de cette analyse que :

- l'**éolienne de 30 kW** devient plus avantageuse que le réseau d'Hydro-Québec selon l'indicateur *Ressources* dès que sa production atteint 63 500 kWh/an (c.-à-d. un facteur d'utilisation de 24 %, correspondant à des vitesses moyennes de vents d'un peu plus de 6,5 m/s, soit des conditions possibles à 22 m de hauteur). Pour que l'éolienne soit préférable selon les indicateurs *Changement climatique* et *Acidification aquatique*, elle doit générer près de 90 000 kWh/an (soit un facteur d'utilisation de 33-35%, avec des vitesses de vents moyennes de 7,5 à 8 m/s). selon l'indicateur *Santé humaine*, une production de 112 000 kWh/an est nécessaire pour favoriser l'éolienne (soit un facteur d'utilisation de 43 %, ou des vitesses de vents de plus de 8,5 m/s, ce qui semble peu probables comme conditions moyennes). Enfin, l'éolienne devrait atteindre un facteur d'utilisation de plus de 50 % (jugé impossible) pour que l'indicateur *Eutrophisation aquatique* lui soit favorable.
- Pour les **éoliennes de 1 et 10 kWh** des facteurs d'utilisation de plus de 50 % seraient nécessaires pour qu'elles présentent moins d'impacts potentiels que le réseau, ce qui dépasse les performances possibles.

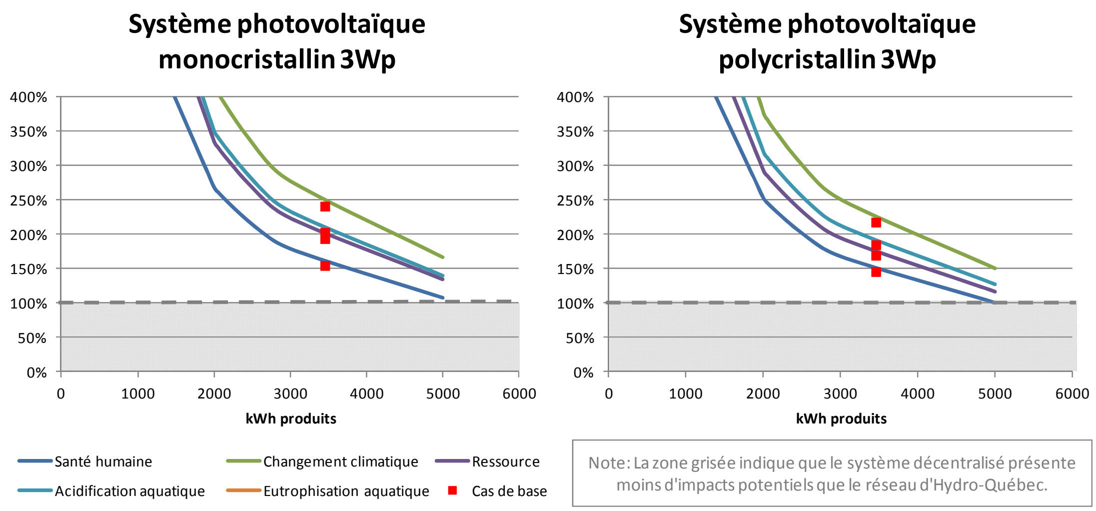


Figure 3-7 : Comparaison environnementale des panneaux photovoltaïques en fonction de leur rendement annuel moyen, par rapport au kWh d'électricité distribué par Hydro-Québec (IMPACT 2002+).

Pour que les **panneaux photovoltaïques de 3 kWp monocristallins ou polycristallins** deviennent plus intéressants que le réseau, il leur faudrait produire au-delà de 5 200 kWh/an, ce qui n'est pas possibles dans les conditions d'ensoleillement québécoises. En effet, selon la modélisation RETScreen réalisée (détail à l'annexe E) les conditions québécoises permettent au plus une production de 3 800 kWh/an.

Il faut noter que les panneaux solaires photovoltaïques peuvent être conçus de manière à ce qu'ils suivent le soleil, ce qui pourrait permettre d'accroître la production électrique de 20 à 40 %. Un tel système pourrait éventuellement être modélisé pour en évaluer la performance.

3.4.3 Comparaison à différentes sources d'approvisionnement énergétique marginales

Rappel : Dans le cas de base, les performances environnementales de l'électricité générée par les systèmes de production décentralisée à petite échelle ont été comparées à celles de l'électricité provenant du réseau d'approvisionnement énergétique d'Hydro-Québec de 2011 (c'est-à-dire comprenant à la fois l'électricité produite, achetée et importée). Or, il est probable que l'électricité générée par les systèmes de production décentralisée ait pour premier effet de réduire la nécessité pour Hydro-Québec d'importer de l'énergie en provenance des territoires voisins, ou de permettre l'exportation de plus d'électricité vers les marchés extérieurs. Une analyse de sensibilité a donc été réalisée afin d'évaluer quels seraient les bénéfices des options évaluées par rapport aux productions marginales d'électricité à partir de centrales au charbon, au mazout et au gaz naturel.

Dans cette analyse, seule la production d'énergie (incluant l'efficacité de production d'électricité à partir d'un combustible) a été considérée. Pour chaque type d'énergie, plusieurs types de centrales et différentes efficacités correspondant aux installations du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Angleterre, de l'Ontario et de l'État de New York ont été modélisés (détails à l'annexe E). Le réseau de distribution n'a pas été considéré, puisqu'il s'agit d'une analyse évaluant la conséquence de remplacer une production d'énergie par une autre et que les infrastructures en place ne sont pas modifiées par la décision d'importer de l'énergie ou non.

Les plages d'efficacités énergétiques suivantes, incluant à la fois des centrales performantes et plus polluantes, ont été considérées :

- Électricité à partir de charbon : 31,3% (min : 29,3%; max : 32,6%)
- Électricité à partir de gaz naturel : 35,9% (min : 22,8%; max : 47,6%)
- Électricité à partir de mazout : 29,5% (min : 19,4%; max : 46,2%)

Plus d'informations sur le choix des technologies marginales et les marchés énergétiques liés au Québec sont présentées par Ben Amor et coll. (2011).

Les résultats obtenus sont présentés sur une base relative à la Figure 3-8 : pour chacun des graphiques, la barre du 100% représente les impacts potentiels associés au mode de production d'électricité marginal de référence.

Il en ressort que lorsque 1 kWh d'énergie renouvelable produite par les systèmes décentralisés permet de réduire d'autant la consommation d'électricité provenant de centrales thermiques :

- des bénéfices de l'ordre de 80 à 90% sont obtenus pour toutes les catégories de dommage, dans le cas de l'énergie issue du charbon;
- des bénéfices plus variables entre 40 et 95% sont obtenus lorsque l'achat d'électricité de centrales au mazout est évitée;
- des bénéfices de l'ordre de 90% sont obtenus pour les indicateurs *Santé humaine, Changement climatique* et *Ressources* lorsque l'électricité produite à partir de gaz naturel est évitée. Le fait d'utiliser de l'énergie produite à petite échelle par des systèmes décentralisés pourrait cependant se traduire par une augmentation des impacts potentiels dans la catégorie *Qualité des écosystèmes*, à cause des émissions de métaux (extraction de cuivre, opération de machinerie, etc.) lors des étapes de production et d'installation des éoliennes et des panneaux solaires photovoltaïques. Cette tendance est cependant à considérer avec prudence vu l'incertitude associée aux modèles de caractérisation associés à l'écotoxicité terrestre dans la méthode IMPACT 2002+.

Comme il a été vu à la sous-section 3.1.1 décrivant le profil environnemental de l'électricité du réseau d'Hydro-Québec, les importations d'énergie produite à partir de centrales thermiques contribuent de manière importante à presque tous les indicateurs environnementaux évalués. Il apparaît donc particulièrement intéressant de mettre en place des systèmes de production décentralisée afin de réduire la dépendance aux énergies fossiles et de réduire les impacts environnementaux potentiels du kWh vendu par Hydro-Québec à ses clients.

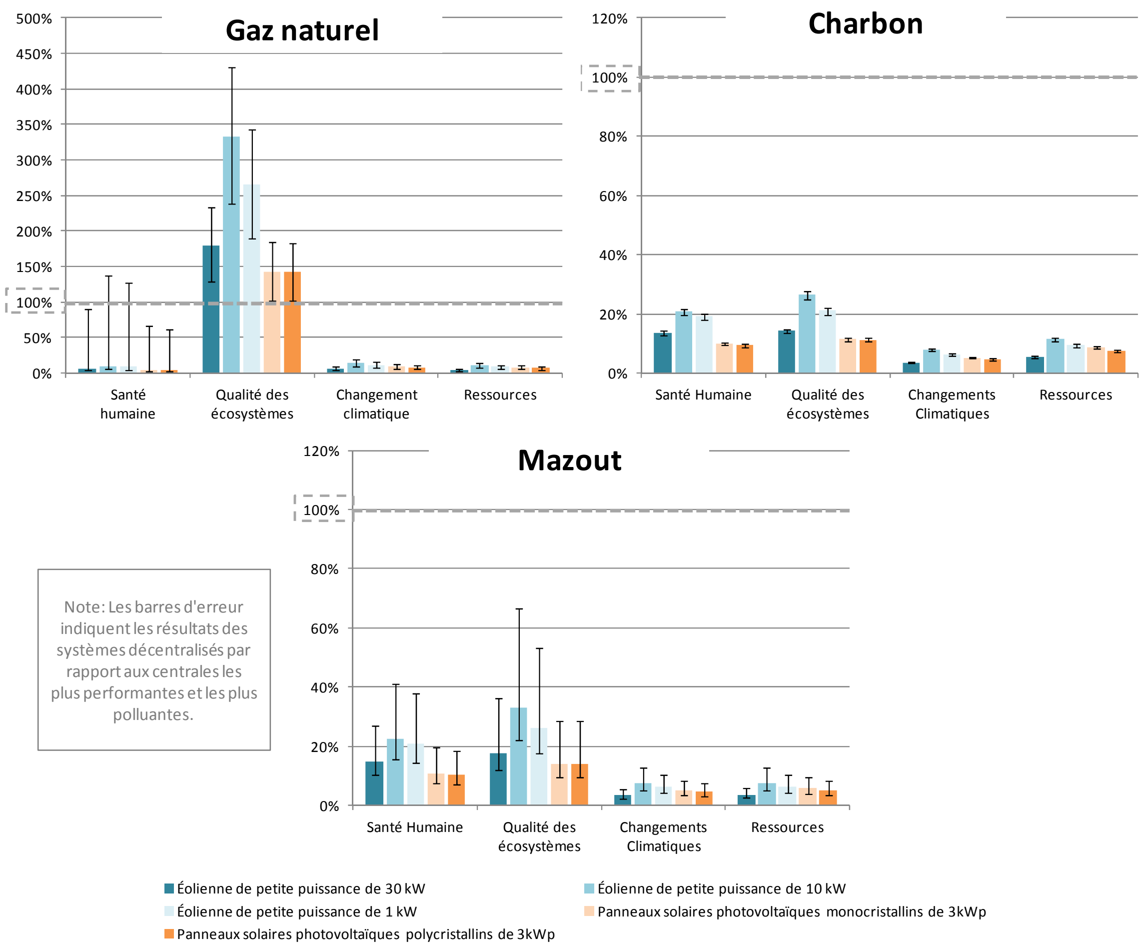


Figure 3-8 : Comparaison environnementale des systèmes à l'étude par rapport au kWh d'électricité provenant de différentes sources d'approvisionnement énergétique marginales (IMPACT 2002+).

3.4.4 Distance de transport des composantes des systèmes éoliens

Rappel : Étant donné l'importance de l'étape de distribution, et principalement du transport des composantes en camion, dans le cycle de vie des éoliennes, une analyse de sensibilité sur la distance parcourue a été effectuée.

Les résultats obtenus sont présentés à la Figure 3-9. Par rapport à la comparaison de base présentée à la Figure 3-4, cette analyse indique une inversion des conclusions pour l'indicateur *Ressources*, qui favorise les éoliennes de 30 kW par rapport au réseau d'Hydro-Québec lorsque les distances de transport sont inférieures à 753 km. Dans tous les autres cas, la réduction des distances de transport ne modifie pas les conclusions.

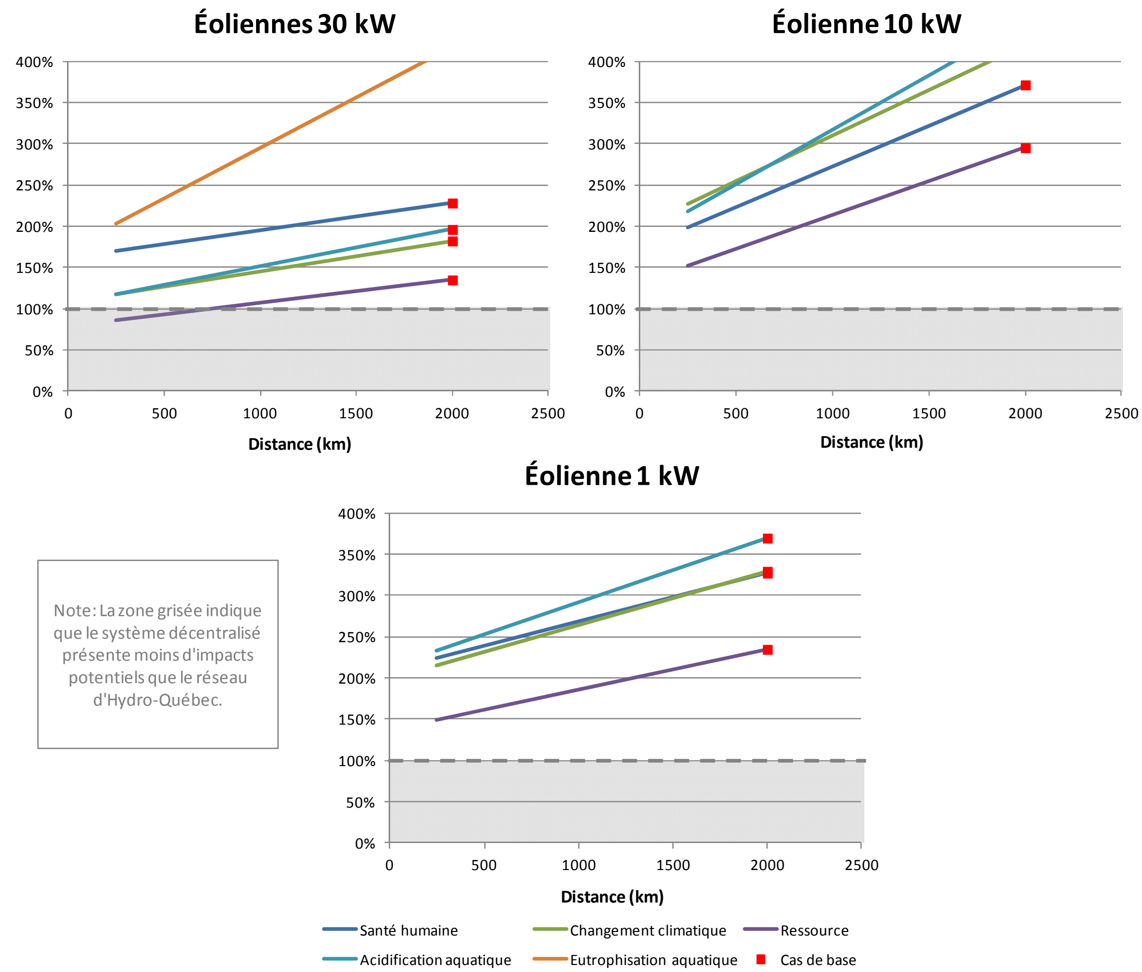


Figure 3-9 : Comparaison environnementale des éoliennes en fonction de la distance de transport de leurs composantes, par rapport au kWh d'électricité distribué par Hydro-Québec (IMPACT 2002+).

3.4.5 Lieu de production des panneaux et des cellules photovoltaïques

Rappel : Dans le cas de base, il a été considéré que les panneaux photovoltaïques étaient produits en Amérique du Nord (avec un mélange d'approvisionnement électrique moyen pour le continent), avec des cellules importées de l'Europe. Or, il existe des producteurs de panneaux au Canada, notamment en Ontario. Une analyse a donc été réalisée pour évaluer l'effet d'utiliser le grid mix ontarien dans la modélisation de la production des panneaux. Le lieu de production des cellules photovoltaïques a également été modifié pour l'Amérique du Nord afin d'évaluer si cela pouvait modifier les conclusions.

Pour cette analyse, l'approvisionnement énergétique employé dans la production des panneaux et des cellules photovoltaïques a été modifié, de même que la distance de transport des cellules photovoltaïques, qui dans l'analyse de base traversaient l'Atlantique par bateau (7 000 km entre l'Allemagne et les États-Unis) et qui, pour cette analyse de sensibilité, sont considérées parcourir 1 000 km en camion (pour représenter le transport entre le lieu de production des cellules aux États-Unis et le lieu de montage des panneaux, en Ontario).

Suivant ces modifications, les impacts environnementaux potentiels de l'étape de production sont affectés de la manière suivante :

- le fait de produire les panneaux en Ontario plutôt qu'en Amérique du Nord affecte peu les résultats (de l'ordre de 1 % pour l'ensemble des indicateurs et pour les deux types de panneaux). Cette conclusion n'est pas surprenante étant donné que l'énergie consommée pour la production des panneaux contribue à moins de 2% des six indicateurs évalués (se référer à l'analyse détaillée de l'étape de production des panneaux photovoltaïques à la sous-section 3.1.3) ;
- la production des cellules photovoltaïques en Amérique du Nord plutôt qu'en Europe a pour effet d'augmenter les impacts potentiels de cette étape, de 1 à 16 % selon les indicateurs.

L'effet du changement de lieux de production sur le cycle de vie complet des systèmes photovoltaïques est présenté au Tableau 3-4.

Tableau 3-4 : Effet du lieu de production des panneaux et des cellules photovoltaïques sur les impacts environnementaux potentiels des systèmes solaires

Indicateur (IMPACT 2002+)	Production des panneaux en Ontario (plutôt qu'en Amérique du Nord) Production des cellules PV en Amérique du Nord (plutôt qu'en Europe)	
Type de panneaux	**Monocristallin**	**Polycristallin**
Santé humaine	+ 5%	+4 %
Changement climatique	+10 %	+8 %
Ressources	+5 %	+5 %
Acidification aquatique	+7 %	+6 %
Eutrophisation aquatique	+2 %	+2 %

Il ressort de cette analyse que le fait d'assembler les panneaux en Ontario plutôt qu'ailleurs en Amérique du Nord ne représente pas un avantage environnemental marqué pour les systèmes photovoltaïques. Par contre, en considérant les données génériques moyennes employées pour modéliser les mélanges énergétiques, il apparaît plus avantageux d'importer des cellules photovoltaïques produites en Europe que de les produire en Amérique du Nord, et ce, malgré la réduction de transport.

Dans tous les cas, les résultats de cette analyse de sensibilité ne modifient pas les tendances présentées précédemment.

3.5 Résumé des analyses

Cette section présente une comparaison des performances environnementales des systèmes de production décentralisée par rapport à l'énergie distribuée par le réseau d'Hydro-Québec, au regard de l'ensemble des analyses effectuées.

Le Tableau 3-5 a été conçu pour résumer toutes les analyses à l'aide d'un code de couleurs. Voici comment l'interpréter :

	Le kWh du réseau d'Hydro-Québec présente moins d'impact potentiel que le système de production décentralisée.
	L'analyse de base favorise le kWh du réseau d'Hydro-Québec, mais cette conclusion pourrait être inversée : • car l'incertitude sur les données d'inventaire (évaluée par l'analyse de Monte Carlo décrite à la sous-section 2.8.5 et dont les résultats détaillés sont présentés à l'Annexe E) amène une probabilité d'inversion de la tendance jugée élevée (plus de 15%). • car les analyses de sensibilité décrites dans les notes en bas de tableau ont montré qu'un changement dans les hypothèses de modélisation pouvait inverser la tendance.
	Il n'est pas possible de trancher quant à l'avantage d'une option sur l'autre du fait que le seuil de significativité (lié aux incertitudes sur les modèles de caractérisation décrits à la sous-section 2.8.5) n'est pas atteint. C'est uniquement le cas pour l'indicateur *Qualité des écosystèmes*.
(X%)	Probabilité, selon l'analyse Monte-Carlo, que le kWh du système de production décentralisé présente moins d'impacts potentiels que le réseau d'Hydro-Québec. Lorsqu'aucun pourcentage n'est indiqué entre parenthèses, c'est que la probabilité est de 0%.

Tableau 3-5 : Résumé des tendances observées, par rapport à l'énergie du réseau

Indicateur (IMPACT 2002+)	Éolienne de petite puissance de 30 kW	Éolienne de petite puissance de 10 kW	Éolienne de petite puissance de 1 kW	Panneaux photovoltaïques monocristallins de 3kW	Panneaux photovoltaïques polycristallins de 3kW
Santé humaine	(1%) [1a]	(<1%)		(5%)	(8%)
Qualité des écosystèmes					
Changement climatique	(7%) [1b]				(<1%)
Ressources	(29%) [1c]	(2%)	(2%)	(2%)	(8%)
Acidification aquatique	(5%) [1d]			(1%)	(1%)
Eutrophisation aquatique	(<1%)				

Nuances apportées par les analyses de sensibilité :

1 L'éolienne de 30 kW devient mieux que l'énergie du réseau :
a) selon *Santé humaine* quand son facteur d'utilisation > 43 % ;
b) selon *Changement climatique* quand son facteur d'utilisation > 33% ;
c) selon *Ressources* quand son facteur d'utilisation > 24% ou quand la distance de transport < 753 km ;
d) selon *Acidification aquatique* quand son facteur d'utilisation > 35% ;

Bien qu'il ne soit pas possible de trancher selon l'indicateur *Qualité des écosystèmes*, celui-ci identifie les poteaux de bois traité du réseau de distribution d'Hydro-Québec comme étant une source d'impacts potentiellement importante.

L'éolienne de 30 kW est le système de production d'énergie décentralisée qui a le plus de chance de présenter des bénéfices par rapport au kWh distribué par Hydro-Québec. Cependant, tous les systèmes de production décentralisée d'énergie électrique évalués présentent un bénéfice environnemental important dès lors qu'ils permettent de réduire les importations

d'électricité produite à partir de centrales thermiques et, de ce fait, de réduire les impacts environnementaux potentiels du kWh vendu par Hydro-Québec à ses clients

3.6 Applications et limites de l'ACV

Cette ACV vise à établir le profil environnemental de cycle de vie de différentes technologies de production décentralisée d'électricité à petite échelle, et à les comparer. Toutes conclusions tirées de cette étude hors de son contexte original doivent être évitées.

Ses résultats pourront être utilisés pour :

- Caractériser le profil environnemental des différents produits étudiés, en identifier et en comparer les « points chauds » et les paramètres clés ;
- Cibler les forces et les faiblesses de chacune des alternatives et identifier les conditions pour lesquelles une alternative semble préférable à l'autre.

Les principales limites pouvant cependant être soulevées concernent :

- Le nombre et la validité des hypothèses relatives au cycle de vie des technologies et scénarios étudiés ;
- La complétude et la validité des données d'inventaire. En particulier, il s'avère difficile de conclure quant à la complétude des données génériques employées pour les composantes des systèmes solaires (panneaux photovoltaïques, onduleur, composantes de raccordement et monture d'installation) par rapport aux produits spécifiques employés au Québec;
- La complétude et la validité de la méthode d'évaluation des impacts utilisée, entre autres parce qu'elle ne couvre pas toutes les substances inventoriées, ni tous les impacts environnementaux associés aux activités humaines. Notamment :
    - Les catégories d'impact « cancer », « non-cancer » et « écotoxicité » ne sont pas des mesures du risque associé aux systèmes évalués. En effet, les différentes émissions sont agrégées dans le temps et l'espace afin de constituer un inventaire dans lequel un seul flux est associé à chacune des substances répertoriées (c.-à-d. la masse totale émise par l'ensemble des processus qui la produisent). Il n'est donc pas possible de connaître le lieu, ni le moment où ont lieu les émissions et donc, d'identifier la quantité à laquelle est exposée une région donnée, l'information sur laquelle repose l'appréciation du risque pour une population donnée.
    - Les modèles d'évaluation des émissions toxiques employés pour caractériser les métaux ont été « adaptés » de modèles développés pour la caractérisation des composés organiques. Ils ne tiennent pas compte de la spéciation des composés, fonction des conditions environnementales spécifiques du lieu d'émission (tous les métaux sont considérés comme 100% biodisponibles). De ce fait, l'impact potentiel des métaux émis au sol est actuellement surestimé pour les catégories « écotoxicité terrestre/aquatique » et « toxicité humaine cancer/non cancer ».
    - L'interprétation des résultats de la caractérisation ne peut se baser que sur les résultats obtenus, c'est-à-dire sur les substances pour lesquelles il existe, dans la base de données des méthodes, des facteurs de caractérisation qui convertissent les flux élémentaires inventoriés en unités d'indicateurs d'impact et de dommage. Or plusieurs flux élémentaires n'ont pu être convertis en scores

d'impact puisqu'aucun facteur de caractérisation n'était disponible. Ils n'ont donc pas été considérés lors de la phase d'évaluation des impacts potentiels.

- Contrairement à l'analyse de risque environnemental conduite dans un contexte réglementaire et qui utilise une approche conservatrice, l'ACV tente de fournir la meilleure estimation possible (Udo-de-Haes *et coll.*, 2002). En effet, l'évaluation des impacts du cycle de vie tente de représenter le cas le plus probable, c.-à-d. que les modèles utilisés, soit les modèles de transport et de devenir des contaminants dans l'environnement et d'effet toxique sur les récepteurs biologiques, ne tentent pas de maximiser l'exposition et le dommage environnemental (approche du pire scénario), mais bien d'en représenter un cas moyen.

Il convient enfin de rappeler que les résultats de l'ACV présentent des impacts environnementaux potentiels et non réels.

3.7 Recommandations et perspectives

3.7.1 Recommandations pour améliorer la production d'énergie électrique décentralisée

Dans un contexte de conditions climatiques moyennes représentatives du Québec et à la lumière des résultats obtenus par kWh produit dans la présente analyse, plusieurs observations ressortent quant aux systèmes plus performants d'un point de vue environnemental et à leur comparaison à l'approvisionnement centralisé d'Hydro-Québec :

- L'éolienne de petite puissance de 30 kW présente une meilleure performance environnementale que les éoliennes de 10 et de 1 kW. Il constitue également le système de production décentralisée qui a le plus de potentiel de présenter un bénéfice environnemental global par rapport au kWh distribué par le réseau d'Hydro-Québec.
- Les panneaux photovoltaïques de type monocristallins et polycristallins présentent des profils environnementaux similaires.
- La réduction des impacts environnementaux potentiels des éoliennes passe par la diminution des distances de transport de leurs composantes, de même que par la réduction de leur masse, notamment pour la fondation, la tour, la nacelle et les raccordements.
- La réduction des impacts environnementaux potentiels des panneaux solaires photovoltaïques passe principalement par une utilisation d'énergie verte pour la production des cellules photovoltaïques et de la monture d'installation en aluminium.
- Bien que le kWh distribué par le réseau d'Hydro-Québec se compare avantageusement à l'énergie produite par les systèmes de production décentralisée selon une majorité d'indicateurs, le fait de produire de l'électricité à petite échelle peut se traduire par des bénéfices environnementaux importants, dans la mesure où cette production décentralisée permet de réduire les importations ou d'augmenter les exportations d'Hydro-Québec vers les territoires voisins plus fortement dépendants des énergies fossiles.
- À la lumière des résultats obtenus, un propriétaire résidentiel désirant installer un système de production d'énergie électrique décentralisée devrait privilégier les technologies évaluées dans l'ordre suivant (dans la mesure où les technologies

considérées et les conditions météorologiques sont semblables à celles modélisées dans la présente étude) :

1. Éolienne de 30 kW
2. Panneaux photovoltaïques (poly ou monocristallins)
3. Éolienne de 1 kW
4. Éolienne de 10 kW

Cette classification se base sur les résultats globaux obtenus pour chacune des technologies. Cependant, en fonction de l'importance qu'accorde le décideur à chacune des catégories de dommage, le choix peut différer. Le Tableau 3-6 présente le détail de classification désagrégé pour chaque indicateur environnemental évalué, « 1 » représentant le choix de technologie à privilégier pour réduire les impacts potentiels pour un indicateur donné.

Tableau 3-6 : Classification des technologies de production décentralisée d'énergie électrique à petite échelle

Indicateur (IMPACT 2002+)	Éolienne de petite puissance de 30 kW	Éolienne de petite puissance de 10 kW	Éolienne de petite puissance de 1 kW	Panneaux photovoltaïques monocristallins de 3kW	Panneaux photovoltaïques polycristallins de 3kW
Santé humaine	2	4	3	1	1
Qualité des écosystèmes	Ne permet pas de trancher				
Changement climatique	1	4	3	2	2
Ressources	1	5	4	3	2
Acidification aquatique	1	4	3	1	1
Eutrophisation aquatique	1	4	3	2	2

3.7.2 Perspectives

Les systèmes de production décentralisée d'énergie électrique permettent tous de libérer de l'énergie du réseau d'Hydro-Québec qui pourrait être exportée vers l'Ontario ou les États-Unis, où elle se substituerait à une énergie issue du réseau nord-est américain. Ce faisant, il en découlerait des bénéfices environnementaux potentiels, du fait de la plus forte dépendance du réseau nord-est américain aux énergies fossiles (Ben Amor et coll., 2010). En continuité avec le travail effectué dans le cadre de la présente étude, il serait intéressant de quantifier les bénéfices potentiellement encourus par l'exportation (en Ontario et aux États-Unis) de quantités d'énergie non consommées au Québec. Pour ce faire, une approche de modélisation conséquentielle du cycle de vie s'avérerait appropriée. Les travaux de doctorat réalisés à la Chaire internationale en analyse du cycle de vie par Mourad Ben Amor (Ben Amor et coll., 2010 et 2011) ont aidé à la définition d'un cadre méthodologique bien adapté à la problématique et au contexte nord-est américain.

Par ailleurs, la présente étude a été balisée en fonction des particularités d'un contexte énergétique de faible puissance, représentatif des conditions climatiques québécoises moyennes. D'autres contextes d'utilisation ou d'autres types de puissances énergétiques présentent également un intérêt : par exemple, les régions éloignées du Québec, qui ne sont pas raccordées au réseau, utilisent des sources énergétiques de types fossiles pour leurs besoins

électriques. En continuité avec le présent projet, il serait intéressant d'élargir le champ de l'analyse afin d'inclure un éventail plus large de contextes d'utilisation.

Enfin, des modèles différents de systèmes pourraient être adaptés au contexte résidentiel. Par exemple, il existe dans le domaine agricole des panneaux solaires photovoltaïques conçus pour suivre le soleil, ce qui permet d'accroître leur production électrique de 20 à 40 %. Un tel système pourrait éventuellement être modélisé pour en évaluer la performance.

4 Conclusions

Cette étude a permis de répondre aux deux objectifs établis au départ, à savoir d'établir le profil environnemental de cycle de vie de différents systèmes génériques de production décentralisée d'énergie électrique et de comparer les systèmes de production décentralisée d'énergie à l'étude entre eux et avec le système de référence (réseau provincial d'Hydro-Québec).

En tout, cinq technologies de production décentralisée d'énergie électrique à petite échelle ont été retenues et comparées à l'énergie du réseau d'Hydro-Québec : les éoliennes de petite puissance de 30 kW, 10 kW et 1 kW, de même que les panneaux solaires photovoltaïques monocristallins et polycristallins de 3 kWp.

Les systèmes éoliens et solaires photovoltaïques sélectionnés sont les plus fréquemment utilisés en contexte québécois pour la production électrique.

De manière générale, pour les **systèmes éoliens,** les étapes de production et de distribution engendrent une part significative des impacts potentiels à cause de l'importance des infrastructures et du transport par camion des composantes sur de longues distances.

Pour les **systèmes solaires photovoltaïques,** l'étape de production domine le profil environnemental, et plus particulièrement la fabrication des cellules photovoltaïques, du cadre en aluminium et du verre solaire.

La comparaison des systèmes de production décentralisée d'énergie électrique entre eux et avec le réseau provincial d'Hydro-Québec, sur la base de la production de 1 kWh d'énergie électrique, a fait ressortir que, dans un contexte de conditions climatiques moyennes représentatives du Québec :

- Le kWh distribué par le réseau d'Hydro-Québec est favorisé par rapport aux cinq systèmes de production décentralisée d'énergie évalués selon une majorité d'indicateurs environnementaux.
- Les émissions de métaux au sol, engendrées par les poteaux de bois traité du réseau de distribution d'Hydro-Québec, présentent un impact potentiellement important. Il n'est cependant pas possible de les évaluer avec les modèles de caractérisation actuels.
- L'éolienne de 30 kW est le système de production d'énergie décentralisée qui a le plus de chance de présenter des bénéfices par rapport au kWh distribué par Hydro-Québec.
- Si le fait de produire de l'électricité à petite échelle au Québec (tant par éolienne de petite puissance que par panneaux photovoltaïques) permet de réduire les importations ou d'augmenter les exportations d'Hydro-Québec vers les territoires voisins plus fortement dépendants des énergies fossiles, il en résulte des bénéfices environnementaux potentiellement importants.

5 Références

ASSOCIATION CANADIENNE DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE.(2005) Éoliennes de petite puissance. En ligne : http://www.smallwindenergy.ca/fr/SmallWind.html [Page consultée le 7 janvier 2009].

BEN AMOR M., LESAGE, P., PINEAU, P.-O. et SAMSON, R. (2010). Can distributed generation offer substantial benefits in a Northeastern American context? A case study of small-scale renewable technologies using a life cycle methodology. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, pp. 2885-2895.

BEN AMOR M., PINEAU, P.-O., GAUDREAULT, C. et SAMSON, R. (2011). Electricity trade and GHG emissions: Assessment of Quebec's hydropower in the Northeastern American market (2006–2008). Energy Policy, 39, pp. 1711-1721.

BERGEY WINDPOWER CO. (2011). Small wind trubines for homes, businesses, and off-grid. Bergey Windpower Co. En ligne : http://www.bergey.com/ [Page consultée le 7 janvier 2009].

BURGER B. ET BAUER C. (2007).Windkraft. Ecoinvent, Dübendorf, CH, Rapport technique Final report No.6-XIII. En ligne : http://www.ecoinvent.org/documentation/reports/ [Page consultée le 16 février 2012].

CANSIA/NRCAN. (2008). The potential for solar PV in Canada. CANSIA/NRCAN. En ligne: http://www.cansia.ca/ [Page consultée le 19 mars 2009].

GOUVERNEMENT DU CANADA ET RESSOURCES NATURELLES CANADA (2003). Les systèmes éoliens autonomes : Guide de l'acheteur. vol. 1, 60 pages.

GOEDKOOP, M.J., HEIJUNGS, R., HUIJBREGTS, M., DE SCHRYVER, A., STRUIJS, J. et VAN ZELM, R. (2009). ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level, First edition Report I: Characterisation; 6 January 2009, 126 p. En ligne : www.lcia-recipe.net [Page consultée le 21 février 2012].

HAESELDONCKX, D. et D'HAESELEER, W. (2008). The environmental impact of decentralised generation in an overall system context, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(2), pp. 437-454.

HUMBERT, S., ROSSI, V., MARGNI, M., JOLLIET, O. et LOERINCIK, Y. (2009). Life cycle assessment of two baby food packaging alternatives: glass jars vs. plastic pots. International Journal of Life Cycle Assessment 14(2) p.95-106.

HYDRO-QUÉBEC (2011). Faits sur l'électricité d'Hydro-Québec : Approvisionnements énergétiques et émissions atmosphériques, 2011. En ligne : http://www.hydroquebec.com/developpementdurable/themes/docs/etiquette_francais_2011.pdf [Page consultée le 28 février 2013].

HYDRO-QUÉBEC (2009). Plan d'action de développement durable 2009-2013 : le développement durable une culture d'entreprise, 16 pages. En ligne : http://www.hydroquebec.com/publications/fr/plan_action_dd/pdf/plan_action_dd.pdf [Page consultée le 16 février 2012].

HYDRO-QUÉBEC (2005) Exigences relatives au raccordement de la production décentralisée utilisant des onduleurs de faible puissance au réseau de distribution basse tension d'Hydro-Québec. Norme sectorielle E.12-07, août 2005 24 pages. En ligne : http://www.hydroquebec.com/transenergie/fr/commerce/pdf/e1207.pdf [Page consultée le 16 février 2012].

IPCC (2007): Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland (2007). "Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical

Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change" [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. En ligne : www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf [Page consultée le 24 novembre 2011].

ISO (2006a). ISO 14040: Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et cadre, Organisation internationale de normalisation, 24 p.

ISO (2006b). ISO 14044: Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Exigences et lignes directrices, Organisation internationale de normalisation, 56 p.

JOLLIET, O., MARGNI, M., CHARLES, R., HUMBERT, S., PAYET, J., REBITZER, G.et ROSENBAUM, R. (2003). IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. International Journal of Life Cycle Assessment 8(6) p.324-330.

JUNGBLUTH N ET TUCHSCHMID M (2007), Photovoltaics Ecoinvent, Dübendorf, CH., Rapport technique Report No. 6-XII, 2007. En ligne: www.ecoinvent.ch.

KORONEOS C., STYLOS N., ET MOUSSIOPOULOS N. (2006). LCA of Multicrystalline Silicon Photovoltaic Systems. Part 1: Present Situation and Future Perspectives International journal of life cycle assessment, 11(2), pp. 129-136.

NATURAL RESOURCES CANADA (Internet) Suite logicielle RETSCreen. MRETScreen (version 4). Natural Ressources Canada et NRCAN/CTEC. En ligne : http://www.retscreen.net/fr/home.php [Page consultée le 24 novembre 2011].

RAUGEI M. ET FRANKL P.(2009) Life cycle impacts and costs of photovoltaic systems: Current state of the art and future outlooks, Energy, 34(3), pp. 392-399.

UDO-DE-HAES, H.A., FINNVEDEN, G. et GOEDKOOP, M. (2002). Life-Cycle Impact Assessment: Striving towards Best Practice, Society of Environmental Toxicology & Chemist, 272 pages.

UNITED NATIONS (1998). Report of the Conference of the Parties on its Third Session, held at Kyoto from 1 to 11 December 1997. Addendum Part Two: Action Taken by the Conference of the Parties at its Third Session. Framework Convention on Climate Change, FCCC/CP/1997/7/Add.1, 25 March 1998, 60 pages.

WEIDEMA, B.P. et SUHR WESNÆS, M. (1996). Data quality management for life cycle inventories - an example of using data quality indicators. Journal of Cleaner Production 4(3-4) p.167-174.

Annexe A :
Méthodologie de l'Analyse du cycle de vie (ACV)

La méthodologie ACV est régie par l'Organisation internationale de normalisation (ISO), en particulier la série de normes ISO 14 040. Les sections suivantes présentent quelques termes et définitions, de même que les principaux aspects méthodologiques de chacune des quatre phases de l'ACV.

A.1 Termes et définitions

Analyse de sensibilité : procédure systématique pour estimer les effets sur les résultats d'une étude des choix concernant les méthodes et les données.

Analyse d'incertitude : procédure systématique permettant de rechercher, puis de quantifier, l'incertitude introduite dans les résultats d'un inventaire du cycle de vie par les effets cumulés de l'imprécision du modèle, de l'incertitude sur les intrants et de la variabilité des données.

Analyse du cycle de vie (ACV) : compilation et évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie.

Analyse du cycle de vie axée sur les attributs (ACV-A) : analyse visant à attribuer à un système de produits la juste part des impacts dont il est responsable.

Analyse du cycle de vie axée sur les conséquences (ACV-C) : analyse visant à évaluer les conséquences d'un système de produits (ou d'une décision affectant ce système) sur d'autres systèmes.

Catégorie d'impact : classe représentant les points environnementaux étudiés à laquelle les résultats de l'inventaire du cycle de vie peuvent être affectés.

Contrôle de cohérence : procédé, mis en œuvre avant d'arriver aux conclusions, permettant de vérifier que les hypothèses, les méthodes et les données sont appliquées de manière cohérente tout au long de l'étude, et conformément à la définition des objectifs et du champ de l'étude.

Contrôle de complétude : procédé permettant de vérifier si les informations des phases précédentes d'une analyse du cycle de vie suffisent pour arriver à des conclusions conformément à la définition des objectifs et du champ de l'étude.

Contrôle de sensibilité : procédé permettant de vérifier que les informations obtenues à partir d'une analyse de sensibilité sont pertinentes pour établir des conclusions et donner des recommandations.

Émissions : émissions dans l'air et rejets dans l'eau et le sol.

Entrant : voir « Intrant »

Évaluation des impacts du cycle de vie (ÉICV) : phase de l'analyse du cycle de vie destinée à comprendre et évaluer l'ampleur et l'importance des impacts potentiels d'un système de produits sur l'environnement au cours de son cycle de vie.

Extrant : flux de produit, de matière ou d'énergie sortant d'un processus élémentaire (NOTE Les produits et les matières comprennent des matières premières, des produits intermédiaires, des coproduits et des émissions).

Facteur de caractérisation : facteur établi à partir d'un modèle de caractérisation qui est utilisé pour convertir les résultats de l'inventaire du cycle de vie en unité commune d'indicateur de catégorie.

Flux de produits : produits entrant ou sortant d'un système de produits en direction d'un autre.

Flux de référence : mesure des extrants des processus, dans un système de produits donné, nécessaire pour remplir la fonction telle qu'elle est exprimée par l'unité fonctionnelle.

Flux élémentaire : matière ou énergie entrant dans le système étudié, qui a été puisée dans l'environnement sans transformation humaine préalable, ou matière ou énergie sortant du système étudié, qui est rejetée dans l'environnement sans transformation humaine ultérieure.

Flux énergétique : intrant ou extrant d'un processus élémentaire ou d'un système de produits, exprimé en unités d'énergie (NOTE Le flux énergétique entrant peut être appelé intrant, et le flux énergétique sortant, extrant).

Flux intermédiaire : flux de produit, de matière ou d'énergie intervenant entre des processus élémentaires du système de produits étudié.

Frontière du système : ensemble de critères qui spécifient quels processus élémentaires font partie d'un système de produits.

Indicateur de catégorie d'impact : représentation quantifiable d'une catégorie d'impact (NOTE L'expression condensée «indicateur de catégorie» est parfois utilisée).

Interprétation du cycle de vie : phase de l'analyse du cycle de vie au cours de laquelle les résultats de l'analyse de l'inventaire ou de l'évaluation de l'impact, ou des deux, sont évalués en relation avec les objectifs et le champ définis pour l'étude afin de dégager des conclusions et des recommandations.

Intrant : flux de produit, de matière ou d'énergie entrant dans un processus élémentaire (NOTE Les produits et les matières comprennent des matières premières, des produits intermédiaires et des coproduits).

Inventaire du cycle de vie (ICV) : phase de l'analyse du cycle de vie impliquant la compilation et la quantification des intrants et des extrants, pour un système de produits donné au cours de son cycle de vie.

Matière première : matière première ou secondaire utilisée pour réaliser un produit.

Processus élémentaire : plus petite partie prise en compte dans l'inventaire du cycle de vie pour laquelle les données d'entrée et de sortie sont quantifiées.

Processus : ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforme des intrants en extrants

Revue critique : processus destiné à s'assurer de la cohérence entre une analyse du cycle de vie et les principes et exigences spécifiés par les Normes internationales traitant de l'analyse du cycle de vie.

Sortant : voir « Extrant »

Système de produits : ensemble de processus élémentaires comportant des flux de produits et des flux élémentaires, remplissant une ou plusieurs fonctions définies, qui sert de modèle au cycle de vie d'un produit.

Unité fonctionnelle : performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une analyse du cycle de vie.

Vérification des résultats : élément de la phase d'interprétation du cycle de vie permettant d'établir la confiance dans les résultats de l'étude de l'analyse du cycle de vie (NOTE La vérification comprend le contrôle de complétude, de sensibilité, de cohérence et toute autre validation pouvant être requise conformément à la définition des objectifs et du champ de l'étude).

A.2 Phase I de l'ACV : Définition des objectifs et du champ de l'étude

La première phase de l'ACV, appelée définition des objectifs et du champ de l'étude, présente essentiellement la raison de l'étude et la façon dont celle-ci sera conduite afin d'atteindre cette fin (c.-à-d. le modèle d'étude définissant le cadre méthodologique auquel doivent se conformer les phases subséquentes de l'ACV).

L'application envisagée et le public cible doivent d'abord être clairement définis puisqu'ils vont fixer la profondeur et l'ampleur de l'étude.

Selon l'ISO, les ACV s'effectuent en mettant au point des modèles qui décrivent les éléments clés des systèmes physiques. Le système de produits[1] représente les activités humaines considérées dans l'étude et l'évaluation des impacts est basée sur des modèles (mécanismes environnementaux) qui lient les interventions environnementales de ces activités et leurs effets potentiels sur l'environnement.

L'ISO définit un **système de produits** comme un ensemble de processus élémentaires liés par des flux de matière et d'énergie qui remplissent une ou plusieurs fonctions. Dans ce sens, le sujet d'une ACV est caractérisé par ses fonctions et non seulement en termes de ses produits finaux. Ceci permet la comparaison de produits qui n'ont pas la même performance fonctionnelle par unité de produit (p. ex. une tasse de Styromousse à usage unique et une tasse en céramique qui est réutilisée plusieurs fois), puisque la quantification de la performance fonctionnelle, au moyen de l'**unité fonctionnelle**, fournit une référence à partir de laquelle sont mathématiquement normalisés les entrants et les sortants des systèmes comparés (p. ex. boire 2 tasses de café par jour durant un an). La spécification de l'unité fonctionnelle est le point de départ de la définition des frontières du système de produits puisqu'elle indique quels sont les processus élémentaires qui doivent être inclus pour remplir cette fonction. Plus la définition de l'unité fonctionnelle est précise, plus les frontières su système sont restrictives.

Un **processus élémentaire**, tel que défini par l'ISO, est la plus petite partie d'un système de produits pour laquelle sont recueillies des données (c.-à-d. il peut représenter un procédé chimique spécifique ou une usine complète incluant de nombreux sous-procédés). Un processus élémentaire est caractérisé par ses entrants et sortants, si le processus élémentaire représente plus d'un sous-procédé, leurs entrants et sortants sont alors agrégés ensemble.

Selon l'ISO, les processus élémentaires sont liés aux écosystèmes naturels (ou écosphère) par des **flux élémentaires** et aux systèmes économiques (ou technosphère, c.-à-d. la part de l'écosphère qui a été transformée par les activités humaines) par des **flux de produits** (Figure A-1). On distingue également les **flux de produits intermédiaires**, entre les processus du système de produits étudié. Ainsi, les flux élémentaires sont puisés directement de ou émis directement dans l'environnement et donc, contribuent aux catégories d'impacts, tandis que les flux de produits (matière, énergie ou service, incluant les coproduits, sous-produits et déchets) sont plutôt utilisés pour déterminer l'intensité des processus modélisés.

[1] Le terme « produits » utilisé seul peut comprendre non seulement des systèmes de produits mais aussi des systèmes de services.

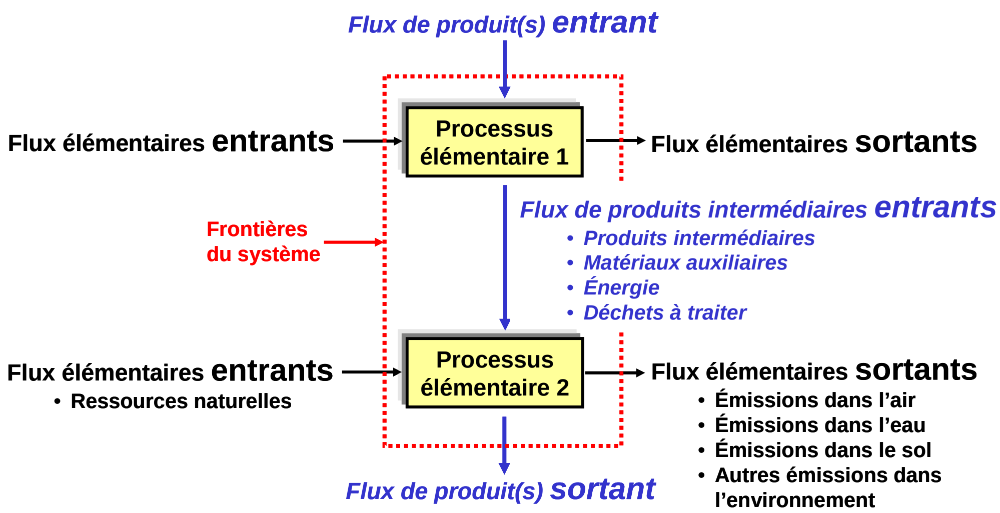


Figure A-1 : Frontières et processus élémentaires d'un système de produits.

L'utilisation d'un diagramme de procédés illustrant les processus élémentaires et leurs interrelations (flux de matières et d'énergie) permet le suivi des frontières du système de produits.

Selon l'ISO, dans l'idéal il convient de modéliser le système de produits de telle sorte que les entrants et les sortants à ses frontières soient des flux élémentaires. Dans de nombreux cas, il n'y a cependant ni assez de temps, ni assez de données, ni assez de ressources pour effectuer une étude aussi complète. Des décisions doivent être prises concernant les processus élémentaires et les flux élémentaires[2] qui doivent être initialement inclus dans l'étude. L'ISO stipule également qu'il n'est pas nécessaire de quantifier des entrants et des sortants qui ne changeront pas de façon significative les conclusions globales de l'étude, elle suggère aussi des critères pour l'inclusion des flux (p. ex. contribution au-dessus d'un certain seuil aux bilans de masse ou d'énergie ou pertinence environnementale).

La liste de tous les processus élémentaires et flux élémentaires à modéliser peut être corrigée avec l'acquisition de nouvelles informations, les décisions menant à ce raffinement des frontières du système devant être clairement présentées.

Une fois que la liste des processus élémentaires inclus dans le système de produits est complétée et afin de construire l'inventaire du système et de poursuivre avec l'évaluation des impacts potentiels, les données pertinentes concernant ces processus (c.-à-d. les entrants et les sortants) doivent être collectées. Cependant, avant de faire cette collecte, les exigences relatives à leur qualité (couverture temporelle, géographique et technologique, précision et complétude), leurs sources (spécifiques ou génériques), leur type (mesurées, calculées ou estimées), leur nature (déterministe ou probabiliste), et leur niveau d'agrégation doivent être déterminées afin de respecter les objectifs de l'étude.

A.3 Phase II de l'ACV : Analyse de l'inventaire du cycle de vie

La seconde phase de l'ACV, appelée l'analyse de l'inventaire du cycle de vie (AICV), est la quantification des flux élémentaires pertinents qui traversent les frontières du système de produits.

---

[2] Puisque les flux élémentaires quantifiés sont les données d'entrée de l'évaluation des impacts, le choix des impacts à évaluer va affecter le choix des flux élémentaires à suivre.

La procédure de calcul utilisée pour compléter l'inventaire est présentée à la Figure A-2.

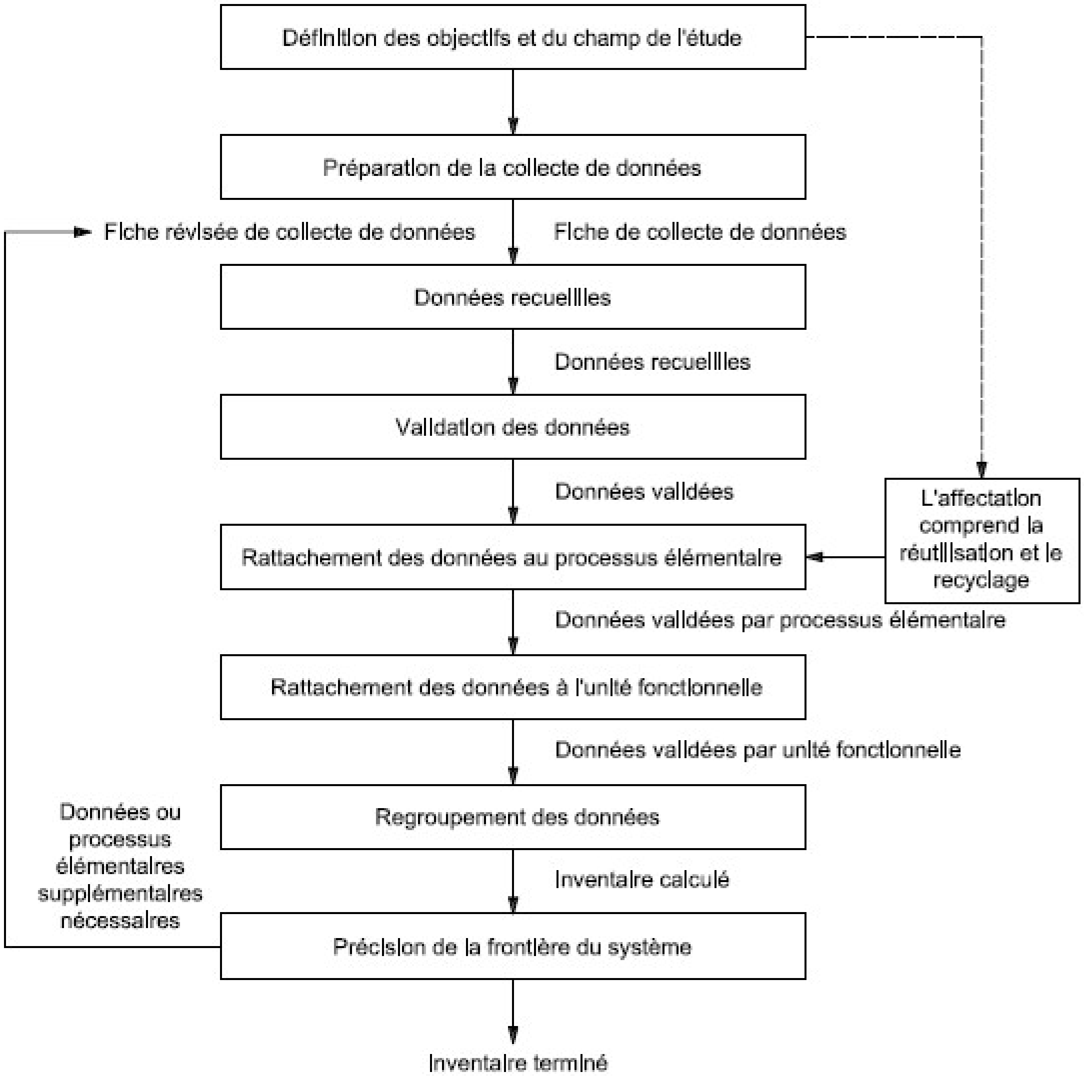


Figure A-2: Procédure de calcul de l'inventaire.
(tiré de ISO 14 044, 2006)

A.3.1 Description des catégories de données

Les données utilisées dans le cadre de l'AICV vie peuvent être classifiées selon leur source (spécifique ou générique), leur type (mesurées, calculées ou estimées), leur nature (déterministe ou probabiliste) et leur niveau d'agrégation.

A.3.1.1 Classification selon la source

Données spécifiques ou primaires

Les données spécifiques sont collectées à partir des installations associées aux processus élémentaires inclus dans les frontières du système. L'analyste responsable de leur collecte a un accès direct aux

données lors de leur collecte ou a un contrôle direct sur le processus de collecte (c.-à-d. la méthodologie employée). Autrement que pour caractériser les installations incluses dans l'étude, ce type de données n'est pas recommandé à cause de son manque de représentativité, à moins que 1) aucune autre source de données ne soit disponible ou 2) un nombre suffisant d'installations du même secteur industriel fournissent des données afin de calculer des moyennes industrielles représentatives (ces dernières peuvent ainsi devenir des données génériques pour d'autres études).

<u>Données génériques ou secondaires</u>

Les données génériques sont obtenues de sources publiées (c.-à-d. bases de données commerciales, littérature spécialisée). L'analyste n'a pas accès aux données lors de leur collecte. Ces données ne sont généralement pas accompagnées de métadonnées[3] suffisantes pour obtenir de l'information sur la méthodologie de collecte et sur la variabilité des données.

A.3.1.2 Classification selon le type

<u>Données mesurées</u>

Les données mesurées proviennent d'installations réelles et sont issues d'un programme de surveillance continue (c.-à-d. monitoring) ou d'un programme d'échantillonnage ponctuel. Il est donc potentiellement possible d'obtenir des informations sur leur variabilité et leur distribution.

<u>Données calculées</u>

Les données calculées résultent de l'utilisation de modèles afin de représenter des procédés ou des phénomènes. Leur qualité dépend donc de la validité des modèles. Ces données peuvent être validées et/ou suppléées par des données mesurées.

<u>Données estimées</u>

Les données estimées incluent celles basées sur le jugement professionnel ou les règles du pouce. Elles ne sont utilisées que lorsqu'aucun autre type de données n'est disponible.

A.3.1.3 Classification selon la nature

<u>Données déterministes</u>

Les données déterministes sont représentées par des valeurs uniques (c.-à-d. mesure, résultat de calcul ou estimation) pour chacun des paramètres caractérisés (c.-à-d. flux). Il n'est donc pas possible de connaître la précision et la variabilité des valeurs rapportées.

<u>Données probabilistes</u>

Les données probabilistes sont représentées par des plages de valeurs ou des fonctions de distribution de probabilités (p. ex. triangulaire, normale, log-normale) pour chacun des paramètres caractérisés (c.-à-d. flux). Elles rendent ainsi compte de l'imprécision et de la variabilité de la valeur d'un paramètre et permettent éventuellement d'analyser, lors de la phase d'interprétation, l'incertitude des résultats obtenus lors des phases d'analyse de l'inventaire et d'évaluation des impacts.

---

[3] Informations accompagnant la donnée d'inventaire et qui donne des renseignements à propos de la donnée (par ex. son origine, la méthodologie utilisée lors de sa collecte, les frontières du processus élémentaire décrit).

A.3.1.4 Classification selon le niveau d'agrégation

Le niveau d'agrégation des données fait référence au nombre de processus élémentaires qui sont représentés par une même donnée. Lorsque complètement désagrégées, les données décrivant une étape spécifique du cycle de vie ou un système de produits sont disponibles pour chaque processus individuel inclus dans l'étape ou le système. À l'inverse, ces mêmes données peuvent être complètement agrégées en une seule donnée, qui à elle seule décrit l'étape ou le système considéré (tous les flux élémentaires d'une même substance sont sommés en un seul flux). Il y a donc une perte d'information avec l'augmentation du niveau d'agrégation puisqu'il n'est plus possible de connaître la contribution individuelle de chacun des processus élémentaires agrégés. Il est parfois difficile d'établir le niveau d'agrégation (et la liste des processus agrégés) des données génériques disponibles dans les bases de données commerciales.

A.3.2 Recueil des données

Selon la complexité du système de produits étudié (c.-à-d. le nombre et la nature des processus élémentaires inclus dans ses frontières), la quantité de données qui doivent être recueillies est souvent considérable. Le recours à des bases de données d'inventaire commerciales facilite ce processus, en fournissant des données sur plusieurs processus élémentaires (p. ex. production de matériaux et d'énergie, transports). Ces bases de données sont majoritairement européennes et donc, ne sont pas vraiment représentatives du contexte canadien. Elles peuvent toutefois être adaptées à celui-ci si les données qu'elles contiennent sont suffisamment désagrégées et si les informations nécessaires pour le faire sont disponibles[4]. La méthodologie utilisée pour faire la collecte des données doit être clairement présentée.

A.3.3 Validation des données

Les données recueillies pour chaque processus élémentaire peuvent être validées en 1) les évaluant en relation avec les exigences déterminées durant la définition de l'objectif et du champ de l'étude quant à leur qualité, et 2) réalisant des bilans de masse ou d'énergie ou des analyses comparatives des facteurs d'émission. Si des anomalies évidentes sont identifiées, des données alternatives conformes aux exigences préalablement établies sont nécessaires.

La disponibilité et la qualité des données pertinentes (p. ex. lacunes dans les données, moyennes génériques au lieu de données spécifiques) vont limiter l'exactitude de l'ACV. Il y présentement un manque de données d'inventaire spécifiques nord américaines, ce qui va affecter les résultats d'études faites au Canada.

[4] Des données décrivant la production de certains matériaux en Europe peuvent faire référence à d'autres processus de production de matériaux (par ex. pour des produits intermédiaires ou auxiliaires) ou d'énergie ou des processus de transport. Les données décrivant ces autres processus élémentaires peuvent être remplacés avec des données décrivant les mêmes processus, si disponibles, provenant d'une source plus spécifique au contexte canadien ou nord américain, augmentant ainsi la représentativité géographique des données européennes.

L'absence d'un format de documentation unique[5], pouvant parfois résulter en une très faible documentation accompagnant les données provenant des bases de données d'inventaire commerciales, peut aussi entraver la collecte et la validation des données en rendant difficile l'évaluation de leur qualité et leur capacité à satisfaire aux exigences établies.

Selon l'ISO, le traitement des données manquantes et des oublis entraîne en règle générale : une valeur de donnée « non zéro » qui est justifiée; une valeur de donnée « zéro » si elle se justifie; ou une valeur calculée sur la base des valeurs communiquées provenant des processus élémentaires faisant appel à une technologie similaire.

A.3.4 Mise en rapport des données avec le processus élémentaire

Une fois que les entrants et les sortants de chaque processus élémentaire ont été identifiés, ils sont quantifiés par rapport à un flux de référence déterminé pour chacun des processus (p. ex. 1 kg de matière ou 1 MJ d'énergie). L'ISO stipule que si un processus élémentaire a plus d'un produit (p. ex. une raffinerie pétrolière produit un mélange d'hydrocarbures pétroliers commerciaux) ou entrant (p. ex. un site d'enfouissement sanitaire reçoit des déchets municipaux qui sont un mélange de différents produits), ou s'il recycle des produits intermédiaires ou des déchets en matières premières, les flux de matières et d'énergie ainsi que les émissions dans l'environnement qui leur sont associés, doivent être imputés aux différents co-produits ou co-entrants selon des règles clairement présentées lors de la définition de l'objectif et du champ de l'étude. L'ISO suggère également une série de principes et de procédures afin réaliser cette imputation.

Les règles d'imputation prescrites par l'ISO sont données ci-après en ordre de priorité.

1. Il convient, dans la mesure du possible, d'éviter l'imputation en :
    - subdivisant les processus multifonctionnels en deux ou plusieurs sous-processus (lorsque certains sous-processus sont spécifiques à un seul des coproduits) ;
    - élargissant les frontières, de manière à inclure les fonctions de d'autres systèmes (potentiellement) substituées par les coproduits (et en attribuant au système étudié un crédit environnemental correspondant à l'impact évité des fonctions substituées).
2. Lorsque l'imputation ne peut être évitée, il convient de diviser les flux entrants et sortants des processus multifonctionnels entre les différents coproduits de manière à refléter des relations physiques sous-jacentes entre eux (p. ex. masse ou énergie).
3. Lorsqu'une relation physique ne peut être établie, il convient de répartir les flux entrants et sortants de manière à refléter d'autres relations entre eux (p. ex. la valeur économique des coproduits).

A.3.5 Mise en rapport des données avec l'unité fonctionnelle

Les entrants et les sortants de tous les processus élémentaires inclus dans le système de produits sont alors normalisés par rapport à l'unité fonctionnelle et agrégés. Selon l'ISO, le niveau d'agrégation doit

[5] Un tel format permettrait un niveau de documentation suffisant et uniforme pour les données génériques provenant des bases de données d'inventaire commerciales. La norme ISO 14 048 (2002), traitant de cette question, est un pas dans la bonne direction.

être suffisant pour répondre aux objectifs de l'étude, et les catégories de données (c.-à-d. substances individuelles ou groupes de ressources naturelles ou d'émissions dans l'environnement) ne devraient être agrégées seulement si elles concernent des substances équivalentes et des impacts similaires sur l'environnement.

A.4 Phase III de l'ACV : Évaluation des impacts du cycle de vie

La troisième phase de l'ACV, appelée l'évaluation des impacts du cycle de vie (ÉICV), est l'interprétation des résultats de l'analyse de l'inventaire du cycle de vie du système de produits étudié afin d'en comprendre la signification environnementale.

L'analyse de l'inventaire permet la quantification des échanges entre le système de produits et l'environnement. Selon le champ d'étude, l'information obtenue sera plus ou moins importante (c.-à-d. des centaines de flux de ressources naturelles et d'émissions dans l'environnement peuvent être quantifiés) et son utilisation pratique peut s'avérer difficile. Durant la phase d'ÉICV, certains enjeux environnementaux, appelés catégories d'impacts, sont modélisés et des indicateurs de catégories sont utilisés pour condenser et expliquer les résultats de la phase d'inventaire.

Selon l'ISO, le cadre méthodologique de l'ÉICV présente des éléments obligatoires et des éléments optionnels (Figure A-3).

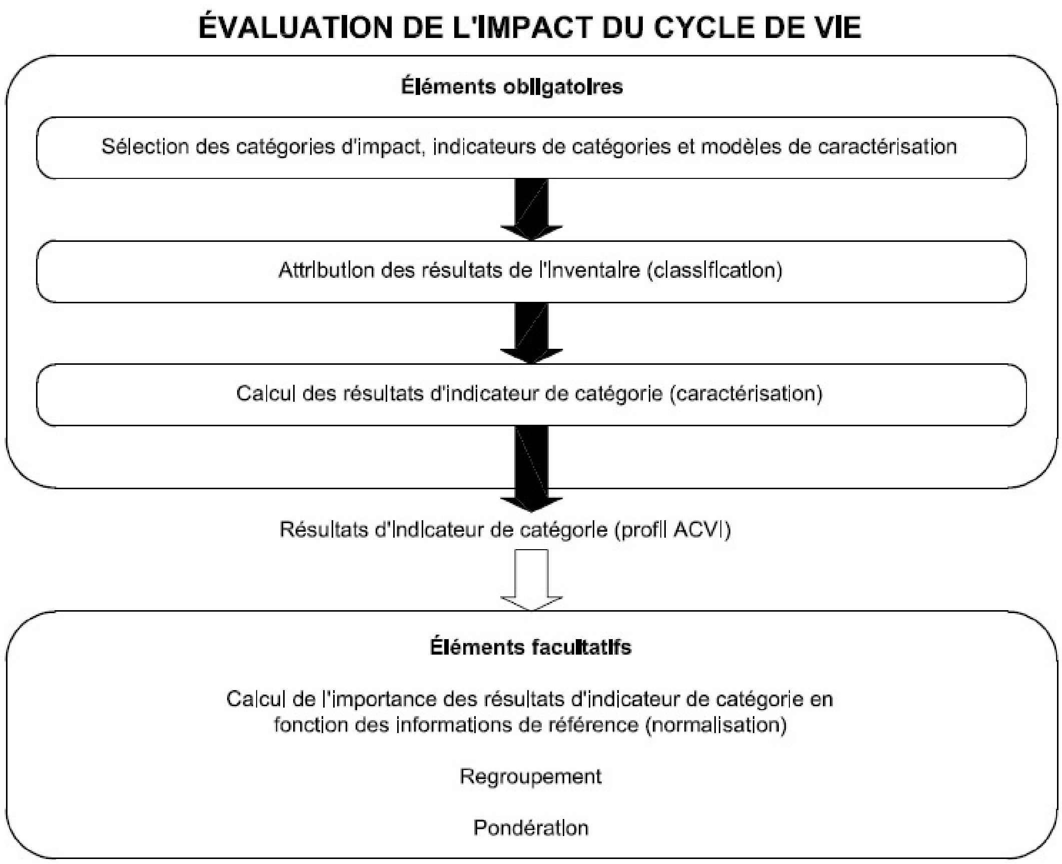


Figure A-3: Éléments de la phase d'ÉICV.
(Tiré de ISO 14 040, 2006)

A.4.1 Sélection des catégories d’impacts et des modèles de caractérisation

La première étape est la sélection de **catégories d’impacts** représentant les points environnementaux à problème considérés durant l’étude. Chaque catégorie est identifiée par un **impact final** (c.-à-d. un attribut ou aspect de l’environnement naturel, de la santé humaine ou des ressources naturelles). Un **mécanisme environnemental** (c.-à-d. chaîne de causalité) est alors établi pour relier les résultats d’inventaire aux impacts finaux et un **indicateur de catégorie** est choisi à un endroit quelconque du mécanisme pour agir comme une représentation quantifiable de la catégorie. Par exemple, la Figure A-4 illustre le mécanisme environnemental pour la catégorie d’impact « Réchauffement global ».

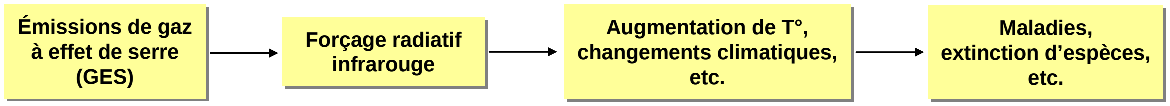


Figure A-4 : Mécanisme environnemental pour la catégorie d’impact « Réchauffement global ».

Un **modèle de caractérisation** est alors développé afin d’en tirer des **facteurs de caractérisation**, qui seront ensuite utilisés pour convertir les résultats d’inventaire pertinents en résultats d’indicateur de catégorie selon leur contribution relative à la catégorie d’impact. Par exemple, pour la catégorie « Réchauffement global », les facteurs de caractérisation représentent le potentiel de réchauffement global de chacun des gaz à effet de serre (en kg de CO_2-équivalents/kg de gaz) et peuvent être calculés à partir du modèle de l’*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Les résultats d’inventaire convertis en une unité commune peuvent alors être agrégés en un seul **résultat d’indicateur de catégorie** pour chaque catégorie d’impact. Un exemple des termes utilisés dans le cadre de l’ÉICV pour la catégorie « Réchauffement global » est présenté au Tableau A-1.

Tableau A-1 : Exemple des termes utilisés dans le cadre de l'ÉICV

Terme	Exemple	Unité
Catégorie d'impact	Réchauffement global	--
Résultats de l'inventaire	Quantité de gaz à effet de serre (GES) par unité fonctionnelle	kg de gaz
Modèle de caractérisation	Modèle de base sur 100 ans élaboré par l'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)	--
Indicateur de catégorie	Forçage radiatif infrarouge	W/m²
Facteurs de caractérisation	Potentiel de réchauffement global (GWP_{100}) pour chaque GES	kg d'équivalents CO_2 / kg de gaz
Résultat d'indicateur de catégorie	Somme des résultats d'inventaire caractérisés (c.-à-d. multipliés par leur facteur de caractérisation respectif)	kg d'équivalents CO_2 / unité fonctionnelle
Impacts finaux par catégorie	Maladies, extinction d'espèces, etc.	--
Pertinence environnementale	Le forçage radiatif infrarouge est une donnée indirecte pour des effets potentiels sur le climat, dépendant de l'absorption de chaleur atmosphérique intégrée engendrée par les émissions de la répartition dans le temps de l'absorption de chaleur.	--

(adapté de ISO 14 044, 2006)

Selon l'ISO, il convient que :

- Les catégories d'impacts, les indicateurs de catégorie et les modèles de caractérisation soient acceptés à l'échelle internationale, c'est-à-dire qu'ils soient basés sur un accord international ou approuvés par un organisme international compétent ;
- Le choix des catégories d'impacts reflète un ensemble complet de points environnementaux en rapport avec le système de produits étudié, tout en tenant compte de l'objectif et du champ de l'étude ;
- Le modèle de caractérisation pour chaque indicateur de catégorie soit scientifiquement et techniquement valable, et fondé sur un mécanisme environnemental distinct, identifiable et/ou une observation empirique reproductible ;
- Les choix de valeurs et les hypothèses faites lors du choix des catégories d'impacts, des indicateurs de catégorie et des modèles de caractérisation soient minimisés.

Les catégories d'impacts souvent considérées en ACV sont les suivantes :

- Réchauffement global
- Appauvrissement de la couche d'ozone
- Acidification
- Eutrophisation
- Smog photochimique

- Toxicité humaine
- Écotoxicité
- Utilisation des ressources abiotiques
- Utilisation des terres
- Utilisation de l'eau

Cependant, puisqu'il n'y a pas encore une seule méthode ÉICV qui est généralement acceptée, il n'existe pas une liste de catégories d'impacts unique, généralement reconnue et utilisée (Udo de Haes *et al.*, 2002). Couramment, un compromis doit être atteint entre les applications envisagées des résultats et l'applicabilité et la praticabilité du choix des catégories et des modèles associés.

Comme pour les banques de données d'inventaire, la plupart des méthodes ÉICV sont européennes et introduisent un biais lorsque le contexte canadien est considéré. Ceci est particulièrement important pour les catégories d'impacts régionales (smog photochimique, eutrophisation, acidification) et locales (toxicité humaine, écotoxicité, utilisation des terres). Ces catégories étant en effet influencées par les conditions environnementales du milieu récepteur, les modèles de caractérisation utilisés devraient normalement prendre en compte ces caractéristiques[6]. Pour ces catégories d'impacts, le CIRAIG a développé une méthode ÉICV canadienne, LUCAS (Toffoletto *et al.*, 2007), basée sur la méthode américaine TRACI (*Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts*) (Bare *et al.*, 2003). Cette méthode a l'avantage d'utiliser des modèles de caractérisation adaptés au contexte nord-américain.

Il est par ailleurs à noter que la méthode IMPACT 2002+ (Jolliet *et al.*, 2003) propose des facteurs de caractérisation de la toxicité humaine pour chaque continent. Et, comme présenté par Rochat *et al.* (2006), bien que les substances émises dans différents continents soient associées à des impacts pouvant différés jusqu'à deux ordres de grandeurs, l'impact relatif (c.-à-d. le « *ranking* ») des substances demeure le même pour la plupart. Les auteurs concluent donc que :

- Des facteurs de caractérisation génériques calculés à l'échelle d'un continent, tels que proposés par la plupart des méthodes ÉICV, sont normalement valables, sur une base comparative, pour d'autres continents ;

- Des facteurs de caractérisation spécifiques aux milieux récepteurs doivent être utilisés lorsque l'étude s'intéresse aux résultats absolus ou lorsque la comparaison vise des scénarios impliquant des émissions dans des milieux récepteurs très différents.

A.4.2 Classification et caractérisation des résultats d'inventaire

Une fois que les catégories d'impacts ont été sélectionnées, les flux élémentaires inventoriés sont affectés (c.-à-d. classés) à ces catégories selon leurs effets prédits. Certains peuvent être exclusivement affectés à une seule catégorie alors que d'autres peuvent être affectés à plus d'une catégorie lorsque sont considérés des mécanismes d'effets parallèles ou en série.

Les résultats d'inventaire affectés sont ensuite convertis grâce aux facteurs de caractérisation appropriés et aux unités communes des indicateurs de catégorie, et les résultats convertis pour chaque catégorie

[6] Les modèles de caractérisation utilisés pour les impacts ayant des répercussions à l'échelle globale (c.-à-d. le réchauffement global, l'appauvrissement de la couche d'ozone, l'utilisation des ressources abiotiques et de l'eau) sont les mêmes quel que soit le lieu d'émission ou d'extraction des ressources.

sont agrégés pour obtenir un résultat d'indicateur sous forme numérique. L'ensemble des résultats d'indicateur forme le **profil d'ÉICV**.

Concernant ce profil, deux éléments doivent être spécialement notés :

1. L'amplitude calculée des impacts considérés ne représente qu'une potentialité puisqu'elle est basée sur des modèles décrivant les mécanismes environnementaux et donc une simplification de la réalité[7].
2. Les substances non définies (c.-à-d. celles qui n'ont pas de facteur de caractérisation dû à un manque d'information, comme les données (éco)toxicologiques par exemple) qui ne sont pas incluses dans les calculs augmentent l'incertitude des résultats.

A.4.3 Éléments optionnels

Selon l'ISO, l'objectif du calcul de l'amplitude des résultats d'indicateur de catégorie par rapport à une information de référence (c.-à-d. **normalisation**) est de mieux comprendre l'amplitude relative de chaque résultat d'indicateur du système de produits étudié. L'information de référence peut être :

1. les émissions ou utilisations de ressources totales pour une zone géographique donnée qui peut être mondiale, régionale, nationale ou locale;
2. les émissions ou utilisation de ressources totales pour une zone donnée (mondiale, régionale ou locale) par habitant ou mesure similaire;
3. un scénario de référence, tel un autre système de produits donné.

Cette étape optionnelle peut s'avérer utile pour un contrôle de cohérence par exemple. Elle présente également l'avantage de convertir tous les résultats d'indicateur de catégorie dans une même unité (p. ex. équivalent personne), un pré requis pour les éléments optionnels suivants.

Selon l'ISO :

1. le **groupement** consiste à affecter les catégories d'impacts en une ou plusieurs séries telles que prédéfinies dans la définition de l'objectif et du champ de l'étude, et il peut impliquer un tri sur une base nominale (p. ex. par caractéristiques telles que les émissions et ressources ou échelles spatiales mondiales, régionales et locales) et/ou un classement par rapport à une hiérarchie donnée (p. ex. priorité élevée, moyenne et basse);
2. la **pondération** est le processus de conversion des résultats d'indicateur des différentes catégories d'impacts en utilisant des facteurs numériques. Elle peut inclure l'agrégation de résultats d'indicateurs pondérés en un score unique.

Ces éléments optionnels impliquent des choix de valeurs et ainsi, différents individus, organismes et sociétés peuvent avoir des préférences différentes et peuvent, par conséquent, obtenir des résultats de groupement et de pondération différents à partir des mêmes résultats d'indicateurs caractérisés.

La méthodologie (c.-à-d. sélection des catégories d'impacts, des indicateurs de catégories, des modèles de caractérisation et des éléments optionnels) utilisée pour réaliser l'évaluation des impacts potentiels doit être clairement présentée durant la définition de l'objectif et du champ de l'étude.

[7] La divergence entre les prédictions des modèles et la réalité est accrue pour la plupart du fait qu'ils sont basés sur le contexte européen. Ceci est particulièrement important pour les impacts régionaux et locaux tels l'acidification et l'écotoxicité.

A.5 Phase IV de l’ACV : Interprétation

Les objectifs de la quatrième phase de l’ACV, appelée interprétation, sont d’analyser les résultats, d’établir des conclusions, d’expliquer les limites et de fournir des recommandations en se basant sur les résultats des phases précédentes de l’étude et de rapporter les résultats de l’interprétation du cycle de vie de manière transparente de façon à respecter les exigences de l’application telles que décrites dans l’objectif et le champ de l’étude.

Idéalement, l’interprétation se fait de façon interactive avec les trois autres phases de l’ACV, avec les phases de définition de l’objectif et du champ de l’étude et d’interprétation du cycle de vie formant le cadre de l’étude et les phases d’analyse de l’inventaire et d’évaluation des impacts fournissant les informations relatives au système de produits.

Selon l’ISO, l’interprétation du cycle de vie comporte trois éléments :

1. l’identification des points significatifs à partir des résultats des phases d’analyse de l’inventaire et d’évaluation des impacts en liaison avec les objectifs et le champ de l’étude;
2. la vérification, qui prend en compte les contrôles de complétude, de sensibilité et de cohérence;
3. les conclusions, les recommandations et la rédaction d’un rapport.

La vérification a pour objectifs d’établir et de renforcer la confiance dans les résultats de l’étude, ainsi que leur fiabilité. Le **contrôle de complétude** a pour objectif de garantir que toutes les informations et données pertinentes nécessaires à l’interprétation sont disponibles et complètes. Le **contrôle de sensibilité** a pour objectif de vérifier la fiabilité des résultats et des conclusions en déterminant s’ils sont affectés par des incertitudes dans les données et les divers choix méthodologiques (p. ex. les critères d’inclusion, les méthodes d’imputation ou les indicateurs de catégorie). Le **contrôle de cohérence** a pour objectif de déterminer si les hypothèses, les méthodes et les données sont cohérentes avec l’objectif et le champ de l’étude et si elles ont été appliquées de façon constante durant toute l’étude, et dans le cas d’une comparaison entre diverses alternatives, aux systèmes de produits comparés.

L’interprétation des résultats est également entravée par la nature déterministe des données d’inventaire et d’évaluation des impacts généralement disponibles, puisque celle-ci empêche l’analyse statistique et quantitative de l’incertitude des résultats associée à l’utilisation de telles données. Ceci affecte le niveau de confiance que l’on peut avoir en ces résultats déterministes; les conclusions et recommandation qui en seront tirées pourraient manquer de nuance, voire être erronées, du fait qu’il est impossible de quantifier la variabilité de ces résultats ou de déterminer s’il y a une différence significative d’impacts entre deux alternatives. La méthodologie (c.-à-d. les types de contrôles) qui sera utilisée pour conduire l’interprétation des résultats doit être clairement présentée durant la définition de l’objectif et du champ de l’étude.

A.6 Références

BARE, J., NORRIS, G.B., PENNINGTON, D.W., MCKONE, T. (2003). TRACI – The tool for the Reduction and assessment of chemical and other environmental impacts. Journal of Industrial Ecology, 6(3-4), pp. 49-78.

ISO 14 040 (2006). « Management environnemental – Analyse du cycle de vie - Principes et cadre », Organisation internationale de normalisation, 24 p.

ISO 14 044 (2006). Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Interprétation du cycle de vie, Organisation internationale de normalisation, 19 p.

ISO 14 048 (2002). « Management environnemental -- Analyse du cycle de vie -- Format de documentation de données », Organisation internationale de normalisation, 45 p.

Jolliet, O., MARGNI, M., CHARLES, R., HUMBERT, S., PAYET, J., REBITZER, G., ROSENBAUM, R. (2003). IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology, International Journal of Life Cycle Assessment 8(6), pp. 324-330.

ROCHAT, D., MARGNI, M., *et al.* (2006). Continent-specific intake fractions and characterization factors for toxic emissions: Does it make a difference? International Journal of Life Cycle Assessment 11 pp. 55-63.

TOFFOLETTO, L., BULLE, C., GODIN, J., REID, C.et DESCHÊNES, L. (2007). LUCAS - A new LCIA Method Used for a CAnadian-Specific Context. International Journal of LCA, 12(2), pp. 93-102.

UDO DE HAES, H., JOLLIET, O., FINNVEDEN, G., HAUSCHILD, M., KREWITT, W., MÜLLER-WENK, R. (1999). “Best Available Practice Regarding Impact Categories and Category Indicators in Life Cycle Impact Assessment – Part II” Background document for the Second Working Group on Life Cycle Impact Assessment of SETAC-Europe, International Journal of LCA, 4 (3), pp. 167-174.

UDO DE HAES, H., JOLLIET, O., FINNVEDEN, G., GOEDKOOP, M., HAUSCHILD, M., HERTWICH, E., HOFSTETTER, P., KLÖPFFER, W., KREWITT, W., LINDEIJER, E., MUELLER-WENK, R., OLSON, S., PENNINGTON, D., POTTING, J. et STEEN, B. (2002). “Life Cycle Impact Assessment: Striving Towards Best Practice” Published by the Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), Pensacola, FL, USB. 272 p.

Annexe B :
Méthode ÉICV IMPACT 2002+

IMPACT 2002+

The LCIA methodology IMPACT 2002+ (Jolliet et al. 2003) proposes a combined midpoint/damage-oriented approach. Figure B-1 shows the overall scheme of the IMPACT 2002+ framework, linking all types of LCI results via 14 midpoint categories (human toxicity, respiratory effects, ionizing radiation, ozone layer depletion, photochemical oxidation, aquatic ecotoxicity, terrestrial ecotoxicity, terrestrial acidification/nutrification, aquatic acidification, aquatic eutrophication, land occupation, global warming, non-renewable energy, mineral extraction) to four damage categories (human health, ecosystem quality, climate change, resources). An arrow symbolizes that a relevant impact pathway is known and quantitatively modelled based on natural science. Impact pathways between midpoint and damage levels that are assumed to exist, but that are not modeled quantitatively due to missing knowledge are represented by dotted arrows.

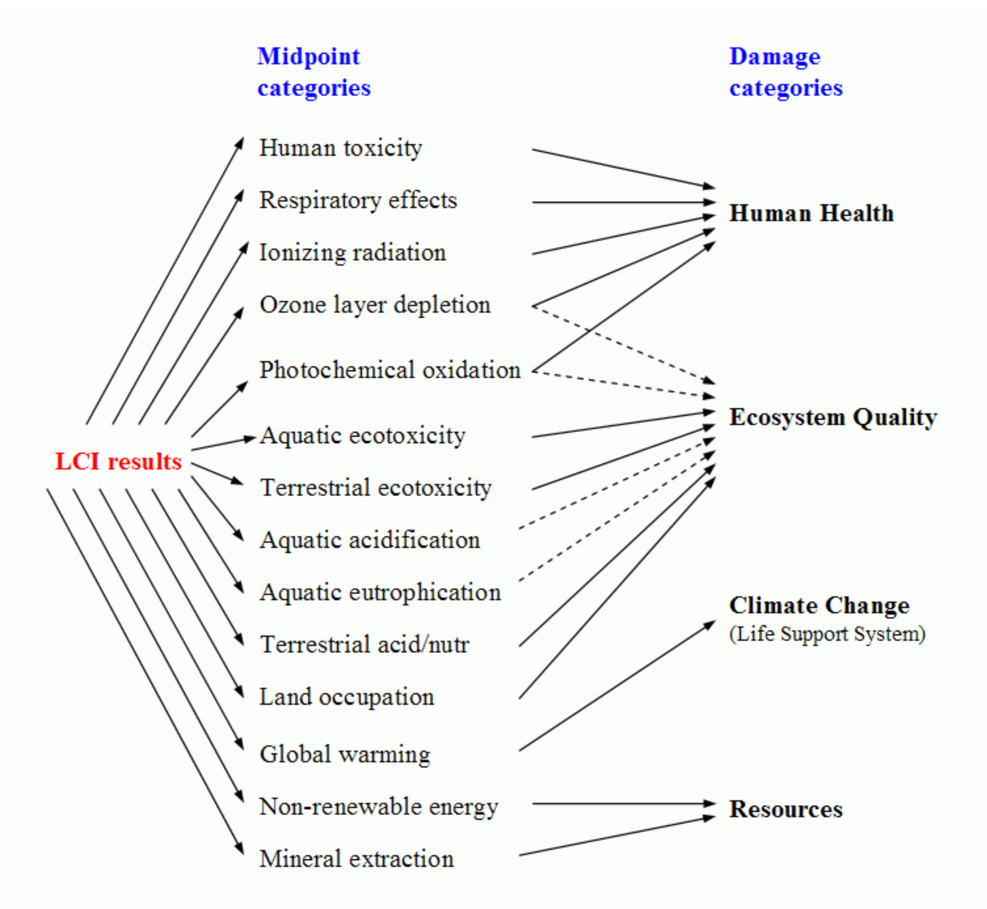


Figure B-1: Overall scheme of IMPACT 2002+, linking the life cycle inventory results (LCI) and the damage categories, via the midpoint categories.

New concepts and methods for the comparative assessment of human toxicity and ecotoxicity were developed for the IMPACT 2002+ methodology. For other categories, methods have been transferred or adapted mainly from the Eco-indicator 99 (Goedkoop et al. 2000) and the CML 2002 (Guinée et al. 2002) methods, from the IPCC list (IPCC 2001), the USEPA ODP list (EPA) and ecoinvent database (ecoinvent Centre, 2005).

By the following we shortly describe the main assessment characteristics for midpoint and damage categories, as well as related normalization factors.

Midpoint categories are:

1. Human Toxicity measures the impact on human life related to carcinogen and non-carcinogens toxic effects caused by pollutants emitted into the environment and eventually reaching the humans through air inhalation, drinking water and food ingestion. Carcinogen and non-carcinogens are separated in two indicators in the analysis realised in the present study.
2. Respiratory Inorganics are air pollutants such as fine particles that affect human lungs. These pollutants are massively released by heavy industries and road traffic.
3. Ionizing Radiation measures the impact on human life caused by substances emitting ionizing radiations. These substances are mainly released by the nuclear energy sector.
4. Ozone Layer Depletion measures the potential in reducing the stratospheric ozone layer and thus the increase in UV light reaching the earth. It can therefore generate impact on human life such as skin cancer and cataract, and damage terrestrial life and aquatic ecosystems. The pollutants destroying the ozone layer, such as CFCs are emitted by some specific industrial processes, in need, for example, for strong cooling systems.
5. Photochemical Oxidation measures the effects on human health (and eventually on crop growth) associated with tropospheric ozone formation (also called summer smog formation). Pollutants responsible for trophosperic ozone such as NOx and Volatiles Organic Carbons (VOCs) are mainly emitted by road traffic and industrial activities.
6. Aquatic Ecotoxicity measures the effects on fresh water ecosystems in term of loss in biodiversity caused by toxic emissions emitted into the environment.
7. Terrestrial Ecotoxicity measures the effects on terrestrial ecosystems in term of loss in biodiversity caused by toxic emissions emitted into the environment.
8. Aquatic Acidification literally refers to processes increasing the acidity in aquatic systems that may lead to declines in fish populations and disappearances of species. These substances such as airborne nitrogen (NOx and NH_3) and sulfur oxides (SOx) are mainly emitted by heavy oil and coal combustion for electricity production, and by road traffic.
9. Aquatic Eutrophication measures the potential of nutrient enrichment of the aquatic environment, which generates a growth of biomass that pushes this ecosystem population out of balance: decrease of oxygen leads to further fish kills and disappearance of bottom fauna. These nutrients are mainly associated with phosphorus and nitrogen compounds in detergents and fertilizers.
10. Terrestrial Acidification and Nutrification measure the potential change in nutrient level and acidity in the soil leading to a change of the natural condition for plant growth and competition. A reduction of species are observed with an excess of nutrients and a decrease in forest health by soil acidification (effect on biodiversity). Acidifying and nutrifying substances such as NOx, SOx and NH_3 are massively released by heavy industries and road traffic.
11. Land Occupation measures the reduction of biodiversity caused by the use of land. Agriculture (farming) is the main contributor to this category.
12. Global Warming covers a range of potential impacts resulting from a change in the global climate. It is the measured heat-trapping effect of a greenhouse gas (GHG) released in the atmosphere. CO_2 emitted by fossil fuel combustion is the main GHG.

13. Primary Non-Renewable Energy measures the amount of energy extracted from the earth contained in the fossil energy carrier (coal, oil and natural gas) or uranium ore. These resources are subject to depletion. Electricity, heat and fuel production and consumption are the main consumer of fossil fuels and uranium ore.
14. Mineral Extraction measures the surplus of energy associated with the additional effort required to extract minerals from lower concentration ore mines.

The indicators of each midpoint impact category have units expressed in kg of substance equivalent that are linked to the following 4 damage indicators (Table B-1 and B-2):

- Human health (DALY). Human toxicity (carcinogenic and non-carcinogenic effects), respiratory effects (inorganics and organics), ionizing radiation, and ozone layer depletion all contribute to human health damages.
- Ecosystems quality (PDF·m^2·yr), measure how far the anthropogenic processes affect the natural development of the occurrence of species within their habitats. Their impact can directly be determined as a Potentially Disappeared Fraction over a certain area and during a certain time per kg of emitted substance, expressed in [PDF.m^2.year/kg emitted]. It includes the contribution of terrestrial acidification/nitrification, land occupation and terrestrial + aquatic ecotoxicity.
- Resources depletion (MJ primary non-renewable energy) and. The two midpoint categories contributing to this endpoint are mineral extraction and non-renewable energy consumption. Damages due to mineral resource extraction are specified according to Eco-indicator 99, with the concept of surplus energy (in [MJ]). This is based on the assumption that a certain extraction leads to an additional energy requirement for further mining of this resource in the future, caused by lower resource concentrations or other unfavorable characteristics of the remaining reserves (Goedkoop et al. 2000).
- Climate change (kg CO_2 equivalent into air). From the authors' point of view, the modeling up to the damage of the impact of climate change on ecosystem quality and human health is not accurate enough to derive reliable damage characterization factors. The interpretation, therefore, directly takes place at midpoint level, which can be interpreted as damage on life support systems that deserve protection for their own sake. The global warming is considered as a stand-alone endpoint category with units of [kg-eq CO_2], which is normalized in the next step. The assumed time horizon is also 500 years to account for both short-term and long-term effects as there is little evidence that global warming effects will decrease in the future.

Table B-1: Number of substances covered, source and units of IMPACT 2002+ (v2.1)

LCI coverage	Midpoint category	Reference	Midpoint reference substance	Damage unit	Damage unit	Normalized damage unit
769	Human toxicity (carcinogens + non-carcinogens)	IMPACT 2002	kg chloroethylene$_{-eq}$	Human Health	DALY	point
12	Respiratory (inorganics)	Ecoindicator 99	kg chloroethylene$_{-eq}$			
25	Ionizing radiations	Ecoindicator 99	kg PM2.5$_{-eq}$			
95	Ozone layer depletion	USEPA and Ecoindicator 99	Bq Carbon-14$_{-eq}$			
130	Photochemical oxidation	Ecoindicator 99	kg CFC-11$_{-eq}$			
393	Aquatic ecotoxicity	IMPACT 2002	kg ethylene$_{-eq}$	Ecosystem Quality	PDF·m^2·yr	
393	Terrestrial ecotoxicity	IMPACT 2002	kg triethylene glycol$_{eq}$ into water			
5	Terrestrial acidification/nutrification	Ecoindicator 99	kg triethylene glycol$_{eq}$ into soil			
15	Land occupation	Ecoindicator 99	m^2 organic arable land			point
10	Aquatic acidification	CML 2002	kg $SO_{2\text{-eq}}$	*n/a*	*n/a*	*n/a*
10	Aquatic eutrophication	CML 2002	kg PO_4^{---} eq	*n/a*	*n/a*	*n/a*
77	Global warming	IPCC 2001 (500 yr)	kg $CO_{2\text{-eq}}$	Climate Change (life supporting functions)	kg $CO_{2\text{-eq}}$ into air	
9	Non-renewable energy	Ecoinvent	MJ/kg crude oil$_{-eq}$	Ressource depletion	MJ primary non-renewable energy	
20	Mineral extraction	Ecoindicator 99	MJ/kg iron$_{-eq}$			

Table B-2: Units of midpoint impact categories and conversion factors between the midpoint categories and the damage categories of IMPACT 2002+ (v2.1).

Midpoint category	Damage Factor	Unit
Carcinogens	2.80E-6	DALY/kg chloroethylene$_{-eq}$
Non-carcinogens	2.80E-6	DALY/kg chloroethylene$_{-eq}$
Respiratory (inorganics)	7.00E-4	DALY/kg PM2.5$_{-eq}$
Ionizing radiations	2.10E-10	DALY/Bq Carbon-14$_{-eq}$
Ozone layer depletion	1.05E-3	DALY/kg CFC-11$_{-eq}$
Photochemical oxidation	2.13E-6	DALY/kg ethylene$_{-eq}$
Aquatic ecotoxicity	5.02E-5	PDF·m^2·yr/kg triethylene glycol$_{-eq}$ into water
Terrestrial ecotoxicity	7.91E-3	PDF·m^2·yr/kg triethylene glycol$_{-eq}$ into soil
Terrestrial acidification/nutrification	1.04	PDF·m^2·yr/kg SO_{2-eq}
Aquatic acidification	1	kg SO_{2-eq}/kg SO_{2-eq}
Aquatic eutrophication	1	kg $PO_4^{---}{}_{-eq}$/kg $PO_4^{---}{}_{-eq}$
Land occupation	1.09	PDF·m^2·yr/m^2 organic arable land
Global warming	1	kg CO_{2-eq}/kg CO_{2-eq}
Non-renewable energy	45.8	MJ/kg crude oil$_{-eq}$
Mineral extraction	5.10E-2	MJ/kg iron$_{-eq}$

The normalization is performed by dividing the impact scores by the respective normalization factors (cf. Table B-3). A normalization factor represents the total impact of the specific category divided by the total European population. The total impact of the specific category is the sum of the products between all European emissions and the respective damage factors.

The normalized characterization factor is therefore determined by the ratio of the impact per unit of emission divided by the total impact of all substances of the specific category, per person per year. The unit of all normalized characterization factors is therefore [point/unit$_{emission}$] = [pers·yr/unit$_{emission}$], i.e. it is the impact caused by a unitarian emission, which is equivalent to the impact generated by the given number of persons during 1 year. Additional details are provided by Humbert et al. (2005).

Table B-3: Normalization factors relative to the four damage categories for Western Europe

Damage categories	Normalization factors	Units
Human Health	0.0071[48]	DALY/point
Ecosystem Quality	13’700	PDF.m^2.yr/point
Climate Change	9’950	kg CO_2 into air/point
Resources	152’000	MJ/point

Bibliography

ecoinvent Centre (2005). ecoinvent data v1.2, Final reports ecoinvent 2000 No. 1-16. ISBN 3-905594-38-2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.

Goedkoop M., Effting S., et al. (2000). The Eco-indicator 99: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Amersfoort, The Netherland, PRé Consultants B.V.: 22.

Guinée J.B., Gorée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., Koning A. d., Oers L. v., Wegener Sleeswijk A., Suh S., Udo de Haes H.A., Bruijn H. d., Duin R. v., Huijbregts M.A.J. (2002), Handbook on Life Cycle Assessment – Operational Guide to the ISO Standards. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2002.

Humbert, S., M. Margni and O. Jolliet (2005). IMPACT 2002+ User Guide: Draft for versiono 2.1. Lausanne, Switzerland, EPFL: 33.

Jolliet O, Margni M, Charles R, Humbert S, Payet J, Rebitzer G and Rosenbaum R. (2003). “IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology.” Int Journal of LCA, 8 (6) p. 324-330

Annexe C :
Données et hypothèses

Système de référence - Électricité du réseau d'Hydro-Québec

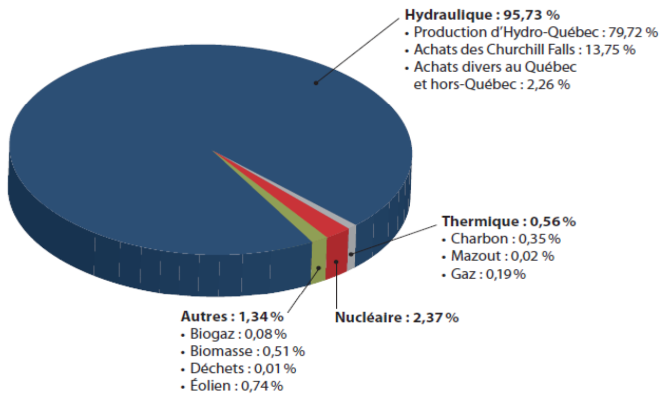
No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD^2	Commentaires /hypothèses / Référence
R1	**Electricity, low voltage, at grid - Qc U, 2011**		**1**	**kWh**	**Energy**		**Il s'agit de l'électricité consommée à la prise. Adapté de la donnée US de ecoinvent.**
		Sulphur hexafluoride, liquid, at plant/RER U	7,79E-09	kg	Lognormal	1,5	based on US (and Swiss) data
R1.1		Distribution network, electricity, low voltage/CH/I U	2,94E-07	km	Lognormal	2	approximation with Swiss data
R2		Electricity, medium voltage, at grid - Qc U, 2011	1,055	kWh	Lognormal	1,5	5,5% de pertes en ligne
	Emissions to air (low pop)						
		Heat, waste	0,0752	MJ	Lognormal	2	approximation with Swiss data
		Sulfur hexafluoride	7,79E-09	kg	Lognormal	1,5	based on US (and Swiss) data
	Emissions to soil						
		Heat, waste	0,226	MJ	Lognormal	2	approximation with Swiss data
R1.1	**Distribution network, electricity, low voltage/CH/I U**		**1**	**km**	**Lenght**		**Proxy. Donnée suisse**
	Land						
		Occupation, industrial area, built up	44,6	m2a	Lognormal	2,37	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Transformation, from arable	0,826	m2	Lognormal	1,92	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Transformation, from forest	0,659	m2	Lognormal	1,68	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Transformation, to industrial area, built up	1,49	m2	Lognormal	1,68	(5,5,4,1,1,5); estimates
	Inputs						
		Concrete, normal, at plant/CH U	1,48	m3	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Lead, at regional storage/RER U	224	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Round wood, softwood, debarked, u=70% at forest road/RER U	1,92	m3	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Preservative treatment, logs, pressure vessel/RER U	1,92	m3	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Wood preservative, inorganic salt, containing Cr, at plant/RER U	34,2	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Copper, at regional storage/RER U	1880	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Light fuel oil, at regional storage/RER U	237	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Packaging film, LDPE, at plant/RER U	74,7	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Polyvinylchloride, at regional storage/RER U	617	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U	2300	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Sulphur hexafluoride, liquid, at plant/RER U	0,0868	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	594	tkm	Lognormal	2,09	(4,5,na,na,na,na); standard distances
		Transport, freight, rail/RER U	3050	tkm	Lognormal	2,09	(4,5,na,na,na,na); standard distances
		Excavation, hydraulic digger/RER U	40,4	m3	Lognormal	1,38	(4,2,4,1,3,3); estimates
		Building, hall, steel construction/CH/I U	0,0557	m2	Lognormal	1,68	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Building, multi-storey/RER/I U	2,17	m3	Lognormal	1,68	(5,5,4,1,1,5); estimates
	Emissions to air						
		Sulfur hexafluoride	0,0017	kg	Lognormal	1,5	(1,1,1,1,1,na); statistics
	Emissions to soil						
		Chromium VI	4,04	kg	Lognormal	1,58	(3,3,2,1,1,5); information from LCA on wooden poles
		Copper	2,52	kg	Lognormal	1,58	(3,3,2,1,1,5); information from LCA on wooden poles
		Boron	0,714	kg	Lognormal	1,58	(3,3,2,1,1,5); information from LCA on wooden poles
		Fluoride	2,73	kg	Lognormal	1,58	(3,3,2,1,1,5); information from LCA on wooden poles
	Wastes and emissions to treatment						***Note: Les métaux sont consédérés recyclés en fin de vie (approche cut off)***
		Disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill/CH U	3260	kg	Lognormal	3,36	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Disposal, wood pole, chrome preserved, 20% water, to municipal incineration/CH U	1040	kg	Lognormal	3,36	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration/CH U	74,7	kg	Lognormal	3,36	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Disposal, polyvinylchloride, 0.2% water, to municipal incineration/CH U	617	kg	Lognormal	3,36	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH U	237	kg	Lognormal	3,36	(5,5,4,1,1,5); estimates
R2	**Electricity, medium voltage, at grid - Qc U, 2011**		**1**	**kWh**	**Energy**		**Québec**
R2.1		Transmission network, electricity, medium voltage/CH/I U	3,24E-08	km	Lognormal	2	approximation with Swiss data
		Sulphur hexafluoride, liquid, at plant/RER U	1,29E-07	kg	Lognormal	1,5	based on US (and Swiss) data
R3		Electricity, high voltage, at grid - Qc U, 2011	1,01	kWh	Lognormal	1,5	national statistics and approximation with Swiss data
	Emissions to air (low pop)						
		Heat, waste	0,0196	MJ	Lognormal	2	approximation with Swiss data
		Sulfur hexafluoride	1,29E-07	kg	Lognormal	1,5	based on US (and Swiss) data
	Emissions to soil						
		Heat, waste	0,016	MJ	Lognormal	2	approximation with Swiss data
R2.1	**Transmission network, electricity, medium voltage/CH/I U**		**1**	**km**	**Lenght**		**Proxy. Donnée suisse**
	Land						

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD^2	Commentaires /hypothèses / Référence
		Occupation, industrial area, built up	111	m2a	Lognormal	2,37	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Occupation, industrial area, vegetation	22,1	m2a	Lognormal	2,37	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Transformation, from arable	2,46	m2	Lognormal	1,92	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Transformation, from forest	1,96	m2	Lognormal	1,68	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Transformation, to industrial area, built up	3,69	m2	Lognormal	1,68	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Transformation, to industrial area, vegetation	0,735	m2	Lognormal	1,68	(5,5,4,1,1,5); estimates
	Inputs						
		Aluminium, production mix, at plant/RER U	614	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Concrete, normal, at plant/CH U	3,51	m3	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Lead, at regional storage/RER U	363	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Round wood, softwood, debarked, u=70% at forest road/RER U	2,71	m3	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Preservative treatment, logs, pressure vessel/RER U	2,71	m3	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Wood preservative, inorganic salt, containing Cr, at plant/RER U	48,3	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Copper, at regional storage/RER U	2020	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Light fuel oil, at regional storage/RER U	313	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Packaging film, LDPE, at plant/RER U	45,4	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Polyvinylchloride, at regional storage/RER U	136	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U	1100	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Sulphur hexafluoride, liquid, at plant/RER U	4,42	kg	Lognormal	1,21	(1,1,2,1,1,5); Swiss SFA study, 1999
		Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	774	tkm	Lognormal	2,09	(4,5,na,na,na,na); standard distances
		Transport, freight, rail/RER U	2600	tkm	Lognormal	2,09	(4,5,na,na,na,na); standard distances
		Excavation, hydraulic digger/RER U	245	m3	Lognormal	1,38	(4,2,4,1,3,3); estimates
		Building, hall, steel construction/CH/I U	0,158	m2	Lognormal	1,68	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Building, multi-storey/RER/I U	6,13	m3	Lognormal	1,68	(5,5,4,1,1,5); estimates
	Emissions to air						
		Sulfur hexafluoride	0,0867	kg	Lognormal	1,5	(1,1,1,1,1,na); statistics
	Emissions to soil						
		Chromium VI	5,7	kg	Lognormal	1,58	(3,3,2,1,1,5); information from LCA on wooden poles
		Copper	3,56	kg	Lognormal	1,58	(3,3,2,1,1,5); information from LCA on wooden poles
		Boron	1,01	kg	Lognormal	1,58	(3,3,2,1,1,5); information from LCA on wooden poles
		Fluoride	3,86	kg	Lognormal	1,58	(3,3,2,1,1,5); information from LCA on wooden poles
	Wastes and emissions to treatment						***Note: Les métaux sont consédérés recyclés en fin de vie (approche cut off)***
		Disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill/CH U	7720	kg	Lognormal	3,36	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Disposal, wood pole, chrome preserved, 20% water, to municipal incineration/CH U	1460	kg	Lognormal	3,36	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration/CH U	45,4	kg	Lognormal	3,36	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Disposal, polyvinylchloride, 0.2% water, to municipal incineration/CH U	136	kg	Lognormal	3,36	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH U	313	kg	Lognormal	3,36	(5,5,4,1,1,5); estimates
R3	**Electricity, high voltage, at grid - Qc U, 2011**		**1**	**kWh**	**Energy**		**Québec**
R3.1		Transmission network, electricity, high voltage/CH/I U	8,44E-09	km	Lognormal	2	approximation with Swiss data
R3.2		Transmission network, long-distance/UCTE/I U	3,17E-10	km	Lognormal	2	approximation with data from Europe
R4		Electricity mix - Qc U, 2011	1,01	kWh	Lognormal	1,5	national statistics and approximation with Swiss data
	Emissions to air (low pop.)						
		Heat, waste	0,0332	MJ	Lognormal	2	approximation with Swiss data
		Ozone	4,50E-06	kg	Lognormal	5	approximation with Swiss data
		Dinitrogen monoxide	5,00E-06	kg	Lognormal	5	approximation with Swiss data
	Emissions to soil						
		Heat, waste	0,00175	MJ	Lognormal	2	approximation with Swiss data
R3.1	**Transmission network, long-distance/UCTE/I U**		**1**	**km**	**Lenght**		**Proxy. Donnée issue de Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity**
	Land						
		Occupation, industrial area, built up	1200	m2a	Lognormal	1,94	(5,5,4,5,1,5); estimates
		Occupation, industrial area, vegetation	6000	m2a	Lognormal	1,94	(5,5,4,5,1,5); estimates
		Transformation, from arable	240	m2	Lognormal	2,38	(5,5,4,5,1,5); estimates
		Transformation, to industrial area, built up	40	m2	Lognormal	2,38	(5,5,4,5,1,5); estimates
		Transformation, to industrial area, vegetation	200	m2	Lognormal	2,38	(5,5,4,5,1,5); estimates
	Inputs						
		Aluminium, production mix, at plant/RER U	6000	kg	Lognormal	1,69	(5,5,4,5,1,5); estimates
		Concrete, normal, at plant/CH U	90,9	m3	Lognormal	1,69	(5,5,4,5,1,5); estimates
		Copper, at regional storage/RER U	1000	kg	Lognormal	1,69	(5,5,4,5,1,5); estimates
		Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U	1,60E+05	kg	Lognormal	1,69	(5,5,4,5,1,5); estimates
		Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	26,7	tkm	Lognormal	2,09	(4,5,na,na,na,na); standard distances
		Transport, freight, rail/RER U	33,4	tkm	Lognormal	2,09	(4,5,na,na,na,na); standard distances

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
	Wastes and emissions to treatment						***Note: Les métaux sont consédérés recyclés en fin de vie (approche cut off)***
		Disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill/CH U	2,00E+05	kg	Lognormal	3,38	(5,5,4,5,1,5); estimates
R3.2	**Transmission network, electricity, high voltage/CH/I U**		**1**	**km**	**Lenght**		**Proxy. Donnée suisse**
	Land						
		Occupation, industrial area, built up	572	m2a	Lognormal	2,37	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Occupation, industrial area, vegetation	685	m2a	Lognormal	2,37	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Transformation, from arable	23,3	m2	Lognormal	1,92	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Transformation, from forest	18,6	m2	Lognormal	1,68	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Transformation, to industrial area, built up	19,1	m2	Lognormal	1,68	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Transformation, to industrial area, vegetation	22,8	m2	Lognormal	1,68	(5,5,4,1,1,5); estimates
	Inputs						
		Aluminium, production mix, at plant/RER U	3150	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Lead, at regional storage/RER U	134	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Copper, at regional storage/RER U	268	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Light fuel oil, at regional storage/RER U	66,9	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Packaging film, LDPE, at plant/RER U	66,9	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Polyvinylchloride, at regional storage/RER U	66,9	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Steel, low-alloyed, at plant/RER U	210	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U	7740	kg	Lognormal	1,33	(3,2,4,1,3,3); literature and estimations
		Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	590	tkm	Lognormal	2,09	(4,5,na,na,na,na); standard distances
		Transport, freight, rail/RER U	5710	tkm	Lognormal	2,09	(4,5,na,na,na,na); standard distances
		Excavation, hydraulic digger/RER U	57,8	m3	Lognormal	1,38	(4,2,4,1,3,3); estimates
		Building, hall, steel construction/CH/I U	0,181	m2	Lognormal	1,68	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Building, multi-storey/RER/I U	7,05	m3	Lognormal	1,68	(5,5,4,1,1,5); estimates
	Wastes and emissions to treatment						***Note: Les métaux sont consédérés recyclés en fin de vie (approche cut off)***
		Disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration/CH U	66,9	kg	Lognormal	3,36	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Disposal, polyvinylchloride, 0.2% water, to municipal incineration/CH U	66,9	kg	Lognormal	3,36	(5,5,4,1,1,5); estimates
		Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH U	66,9	kg	Lognormal	3,36	(5,5,4,1,1,5); estimates
R4	**Electricity mix - Qc**	**U, 2011**	**1**	**kWh**	**Energy**		**Production, achats + import. Tiré de HYDRO-QUÉBEC (2011). Faits sur l'électricité d'Hydro-Québec : Approvisionnements énergétiques et émissions atmosphériques, 2011. En ligne : http://www.hydroquebec.com/developpementdurable/themes/docs/etiquette_francais_2011.pdf** Note: la production électrique à partir de biogaz et de déchets a été négligée (par manque de données générique pour les représenter et du fait qu'elle compte pour moins de 0,1%). La production d'hydroélectricité a été augmentée d'autant pour donner 100% au total.
		Electricity, hydropower, at run-of-river power plant/CH U	0,3081	kWh			Production HQ. Quantité ajustée pour donner un total de 100% (vu l'exclusion des déchets et du biogaz)
		Electricity, hydropower, at reservoir power plant, alpine region/RER U	0,4900	kWh			Production HQ. Quantité ajustée pour donner un total de 100% (vu l'exclusion des déchets et du biogaz)
		Electricity, nuclear, at power plant boiling water reactor/DE U	0,0237	kWh			Nucléaire
		Electricity, oil, at power plant/DE U	0,0002	kWh			Mazout
		Electricity, at wind power plant 800kW/RER U	0,0074	kWh			Éolien
		Electricity, hydropower, at reservoir power plant, non alpine regions/RER U	0,1375	kWh			Achats des Chruchill Falls
		Electricity, hydropower, at run-of-river power plant/RER U	0,0023	kWh			Achats
		Electricity, hydropower, at reservoir power plant, non alpine regions/RER U	0,0203	kWh			Achats
		Electricity, hard coal, at power plant/HR U	0,0035	kWh			Charbon
		Electricity, industrial gas, at power plant/BE U	0,0019	kWh			Gaz
		Electricity, at cogen ORC 1400kWth, wood, allocation energy/CH U	0,0051	kWh			Biomasse

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence

Hydro-Québec (2011)



Système éolien de petite puissance de 30 kW

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
	S12-P1 Condition moyenne Électricité, turbine éolienne 30kW		**1**	**kWh**	**Energy**		**Adapté de electricity, at wind power plant Simplon 30kW/kWh/CH 'Énergie Moyenne pour une vitesse moyenne de vent par exemple :Blanc Sablon à 5,6 m/s (20,16km/h) mésuré à 10 m et corrigé pour 22 m. L'altitude du site est de 37m Énergie Moyenne est estimé à 52560 kWh (RETScreen)**
		P21-Production de la partie mobile 30 kW	9,50E-07	p	Lognormal	1,1	Avec une production de 52, 560MWh/an * 20ans . donc 1/(52, 560*20)= 9,5E-07
		P12-Production de la partie fixe 22 m	4,80E-07	p	Lognormal	1,1	Le meme raisonnement sapplique mais sur 40 ans, Avec une production de 52,560 MWh/an* 40ans. donc 1/ (52,560*40)= 4,8E-07
		I21-Installation de la partie mobile 30 kW	9,50E-07	p	Lognormal	1,1	
		I12-Installation de la partie fixe 22 m	4,80E-07	p	Lognormal	1,1	
		E21-Exploitation de la partie mobile 30 kW	9,50E-07	p	Undefined	0	l'incertitude de l'exploitation est prise en consideration dans l'etape E21
		F21-Fin de vie de la partie mobile 30 kW	9,50E-07	p	Lognormal	1,1	
		F12-Fin de vie de la partie fixe 22 m	4,80E-07	p	Lognormal	1,1	

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
	P21-Production de la partie mobile 30 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Adapté de wind power plant 30kW, moving parts/p/CH/I The moving parts are composed of the rotor, made of glass fibre reinforced plastic and small amounts of steel, and the nacelle, whose components are mainly made of different types of steel and plastics and small amounts of aluminium and copper. The copper cables, connecting the generator to the electricity grid, and various electronic components are also accounted for in the moving parts, because they are assumed to have the same lifetime. Similarly to the fixed parts, processing, transport of materials to the manufacturer and from it to the location of final installation, as well as the energy requirement for assembling and final installation**
		P211-Production du Rotor de la partie mobile 30 kW	1	p	Undefined		l'incertitude est prise en consideration dans P211
		P212-Production de la Nacelle de la partie mobile 30 kW	1	p	Undefined		l'incertitude est prise en consideration dans P212
		P213-Production des composantes de raccordement de la partie mobile 30 kW	1	p	Undefined		l'incertitude est prise en consideration dans P213
	P12-Production de la partie fixe 22 m		**1**	**p**	**Amount**		**Adapte de wind power plant 30kW, fixed parts/p/CH/I 24-30 are the most commun heights (30 recommended). La tour est légèrement inférieur à l'intervalle recommandé. La partie fixe est en tubulaire (free standing) The dataset for fixed parts accounts for different construction materials – mainly concrete for the basement and steel for the tower –, their processing, and their transport to the manufacturing company and from this to the location of installation. Land use for the basement and energy requirements for tower installation are included as well.**
		P121-Production de la tour de la partie fixe 22 m	1	p	Undefined	0	L'incertitude est prise en consideration dans P121
		P122-Production de la fondation de la partie fixe 22 m	1	p	Undefined	0	L'incertitude est prise en consideration dans P122
	I21-Installation de la partie mobile 30 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Renvoie à l'installationd de la partie mobile au QC**
		Electricity, medium voltage, at grid - Qc U	2	kWh	Lognormal	2	own estimation. The additional Electricity, including horizontal movements and thus losses Electricity, medium voltage, at grid/CH U a été adapté pour une installation au QC : Electricity medium voltage, at grid- Qc
		9,50E-07	575	kWh	Lognormal	2	own estimation. a power consumption of 0.5 kWh / kg pour une masse totale de 1150 kg Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U adapte nord america
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	3032,16	tkm	Lognormal	2,1	transport de 2021,44 kg sur 1500 km (distance US-QC) (incluant les pieces de rechange sur la duree de vie de la partie mobile)
	I12-Installation de la partie fixe 22 m		**1**	**p**	**Amount**		**Installation de la partie fixe (la tour et la fondation)**
		Transformation, to industrial area, built up	4	m2	Lognormal	1,21	own estimation. Uniquement la transformation du terrain pour l' installation de la fondation de 2*2 a été considérée incluant l'occupation de cette surface dans le temps (40 ans d'occupation: durée de vie de la tour)

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
		Occupation, industrial area, built up	160	m2a	Lognormal	1,21	own estimation. =40*4
		Diesel, burned in building machine/GLO U	5070	MJ	Lognormal	1,65	own estimation 118 kg selon Ecoinvent This will require a crane with lifting capacity to handle the combined weight of turbine and tower, and a convenient area of reasonably level ground for assembly of the tower-turbine combination.
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	88432,5	tkm	Lognormal	2,1	standard for transprts = 5,427t de tour + 53,41 t de fondation+ 0,118 de Diesel = 58,955*1500km (distance US-QC)
	E21-Exploitation de la partie mobile 30 kW		**1**	**p**	**Amount**		**The gear (20 liters) every 4 years should be changed. At a density of 0.84 kg / l and a assumed life of the moving parts of 20 years, 84 kg is needed. It is assumed that for 5 oil changes in 20 years, a person with the car from Brig on the Simplon drives and back (40 km).**
		Energy, kinetic (in wind), converted	1,63E+06	MJ	Lognormal	1,3	3.87*21000*20=1.63E6 own assumption, based on interval of conversion efficiencies
		Lubricating oil, at plant/RER U	84	kg	Lognormal	1,65	2.0E-4 par Kwh *21000 * 20 ans=84 kg. Quantite total independament du rendement de leolienne
		Transport, passenger car/RER U	201,6	personkm	Lognormal	2,2	4.8E-4 *21000*20 ans=201.6 Quantite total independament du rendement de l'eolienne. 201,6 implique 201,6 lm de deplacement pour toute la duree de vie de leolienne (40 km par chaque 4 ans)
	Waste and emission to treatment						
		Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH U	84	kg	Lognormal	1,76	2.0E-4 par Kwh *21000 * 20 ans=84 kg Quantite totale independament du rendement de l'eolienne
	F21-Fin de vie de la partie mobile 30 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Uniquement la fin de vie des parties non metalliques est prise en consideration**
		F211-Fin de vie du Rotor de la partie mobile 30 kW	1	p	Undefined	0	
		F212-Fin de vie de la Nacelle de la partie mobile 30 kW	1	p	Undefined	0	
		F213-Fin de vie des composantes de raccordement de la partie mobile 30 kW	1	p	Undefined	0	
		Electricity, medium voltage, at grid - Qc U	577	kWh	Lognormal	2	La même quantité d'électricité pour l'installation et l'assamblage de la partie mobile est nécessaire pour le démontage et la fin de vie (voir I 21). a power consumption of 0.5 kWh / kg pour une masse totale de 1150 kg Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U adapte Qc
	F12-Fin de vie de la partie fixe 22 m		**1**	**p**	**Amount**		
		F121-Fin de vie de la tour de la partie fixe 22 m	1	p	Undefined	0	lincertiture est prise en consideration dans F121
		F122-Fin de vie de la fondation de la partie fixe 22 m	1	p	Undefined	0	lincertiture est prise en consideration dans F122
		Diesel, burned in building machine/GLO U	5070	MJ	Lognormal	1,65	lenergie necessaire pour le demontage n pas ete prise en consideration. la meme quantite necessaire pour le montage a ete considere avec la meme incertitude.

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
	P211-Production du Rotor de la partie mobile 30 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Adapté de wind power plant 30kW, moving parts/p/CH/I**
		Cast iron, at plant/RER U	79	kg	Lognormal	1,32	Quantite de fer nécessaire pour le Hub (Noyeu)
		Chromium steel 18/8, at plant/RER U	138	kg	Lognormal	1,32	Chrome nécessaire pour le drivetrain- disque qui joint les pales
		Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant/RER U	146	kg	Lognormal	1,21	Les pales en fibre de verre (146 kg) avec 95 Kg Glass(65%) et 51 Plastics (35%) selon les pourcentages proposés dans le rapport ecoinvent PV
		Sheet rolling, chromium steel/RER U	138	kg	Lognormal	1,32	Pour glass fibre et Cast iron pas de processus sont affichés (comme c'est le cas pour le chrome). ces derniers sont inclus dans materials
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	181,5	tkm	Lognormal	2,1	transport de (79+138+146) kg =0,363 sur 500 km (distance US-US). ce transport correspond a lapprovisionnement de la matiere premiere
	P212-Production de la Nacelle de la partie mobile 30 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Adapté de wind power plant 30kW, moving parts/p/CH/I**
		Aluminium, primary, at plant/RER U	14,7	kg	Lognormal	1,21	own estimation. Aluminium necessaire pour la generatrice
		Cast iron, at plant/RER U	189	kg	Lognormal	1,32	own estimation. Fonte necessaire pour Getriebe-Gear box-Boite à vitesse et Generator - Generator-Génératrice
		Chromium steel 18/8, at plant/RER U	598,5	kg	Lognormal	1,32	own estimation. Le chrome est utilise par toute les sous composantes de la nacelle
		Copper, at regional storage/RER U	17	kg	Lognormal	3,3	own estimation. Cuivre necessaire pour la generatrice

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD^2	Commentaires /hypothèses / Référence
		Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant/RER U	60	kg	Lognormal	1,21	own estimation. fibre de verre necessaire pour le panneaux dacces de la nacelle
		Lubricating oil, at plant/RER U	10	kg	Lognormal	1,15	own estimation. huile de lubrification pour YAW drive- Mécanisme à Lacet (permet dorienter la nacelle)
		Synthetic rubber, at plant/RER U	3,2	kg	Lognormal	1,65	own estimation. au niveau de lembrayage
		Steel, low-alloyed, at plant/RER U	49	kg	Lognormal	1,15	own estimation. Acier pour YAW drive- Mécanisme à Lacet (permet dorienter la nacelle)
		Section bar rolling, steel/RER U	49	kg	Lognormal	1,32	own estimation. Remarque a verifier peut etre erreur dans ecoinvent: selon Ecoinvent on a besoin de 317 du process pour 49 kg d acier. Par contre pour le meme metal cette approche n'a pas ete applique une deuxieme fois dans le rapport (par exemple dansP213-Production des composantes de raccordement de la partie mobile 30 kW 63 d'acier pur 63 kg de processus). le changement a ete realise pour comparer son influence sur les resultats d'impact, une variation de 1% maximum a ete notée
		Sheet rolling, aluminium/RER U	14,7	kg	Lognormal	1,21	own estimation
		Sheet rolling, chromium steel/RER U	598,5	kg	Lognormal	1,32	own estimation
		Wire drawing, copper/RER U	17	kg	Lognormal	3,3	own estimation
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	470,7	tkm	Lognormal	2,1	transport de (14.7+...+49) kg=0.9414 * 500 km (distance US-US)
	P213-Production des composantes de raccordement de la partie mobile 30 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Adapté de wind power plant 30kW, moving parts/p/CH/I**
		Aluminium, primary, at plant/RER U	0,04	kg	Lognormal	1,21	own estimation
		Copper, at regional storage/RER U	223	kg	Lognormal	3,3	own estimation
		Lead, at regional storage/RER U	0,5	kg	Lognormal	1,15	own estimation
		Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	246	kg	Lognormal	3,3	own estimation
		Polypropylene, granulate, at plant/RER U	20	kg	Lognormal	3,3	own estimation
		Polyvinylchloride, bulk polymerised, at plant/RER U	164	kg	Lognormal	3,3	own estimation
		Steel, low-alloyed, at plant/RER U	63	kg	Lognormal	1,15	own estimation
		Tin, at regional storage/RER U	0,5	kg	Lognormal	1,15	own estimation
		Section bar rolling, steel/RER U	63	kg	Lognormal	1,32	own estimation. Remarque a verifier peut etre erreur dans ecoinvent. Voir P212
		Sheet rolling, aluminium/RER U	0,04	kg	Lognormal	1,21	own estimation
		Wire drawing, copper/RER U	223	kg	Lognormal	3,3	own estimation
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	358,52	tkm	Lognormal	2,1	transport de (0.04+223+0.5...+0,5)=717.04 kg * 500 km (distance US-US)
	P121-Production de la tour de la partie fixe 22 m		**1**	**p**	**Amount**		**wind power plant 30kW, fixed parts/p/CH/I**
		Epoxy resin, liquid, at plant/RER U	37	kg	Lognormal	1,32	own estimation
		Steel, low-alloyed, at plant/RER U	5300	kg	Lognormal	1,21	own estimation
		Sheet rolling, steel/RER U	5300	kg	Lognormal	1,21	own estimation
		Welding, arc, steel/RER U	84	m	Lognormal	1,32	own estimation
		Zinc coating, pieces/RER U	74	m2	Lognormal	1,3	own estimation
		Zinc coating, pieces, adjustment per um/RER U	1480	m2	Lognormal	1,3	Selon le rapport la quantite de zinc nécessaire est de 90 kg. own estimation
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	2713,5	tkm	Lognormal	2,1	transport de (37+90+5300 kg) =5,427 sur 500 km (distance US-US). ce transport correspond a lapprovisionnement de la matiere premiere
	P122-Production de la fondation de la partie fixe 22 m		**1**	**p**	**Amount**		**wind power plant 30kW, fixed parts/p/CH/I**
		Concrete, normal, at plant/CH U	23,2	m3	Lognormal	1,32	Blasting RER U 10 Kg a été supprimé. Elle ne s'applique dans un contexte d'autoproducteur comparativement dans le cas d'un parc eolien comme Ecoinvent proposait 51040kg selon Ecoinvent
		Reinforcing steel, at plant/RER U	2370	kg	Lognormal	1,21	own estimation 2370 kg Steel est inclus dans le process
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	26705	tkm	Lognormal	2,1	le transport a également été changé de transport lorry 20-28t pour transport lorry 3.5-20t transport de (51040+2370 kg) =53,41 sur 500 km (distance US-US) ce transport correspond a l'approvisionnement en matiere premiere (gradle to gate)
	F211-Fin de vie du Rotor de la partie mobile 30 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Uniquement la fin de vie des parties non metalliques est prises en consideration. Fin de vie au Québec. L'incinération a été remplacée par l'enfouissement.**

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	7,3	tkm	Lognormal	2,1	146 kg est uniquement le poids de la partie disposée du Rotor exclaunt le metal (distance est de 50 k) . le reyclage du metal inclaunt son transport n'est pas pris en considération=0,146*50=7.3
	Waste and emission to treatment						
		Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill/CH U	51	kg	Lognormal	1,3	Fin de vie de la partie mobile. uncertainty of input plus composition of glass fibre reinforced plastic
		Disposal, glass, 0% water, to inert material landfill/CH U	95	kg	Lognormal	1,3	uncertainty of input plus composition of glass fibre reinforced plastic
	F212-Fin de vie de la Nacelle de la partie mobile 30 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Uniquement la fin de vie des parties non metalliques est prises en consideration. Fin de vie au Québec. L'incinération a été remplacée par l'enfouissement.**
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	3,6575	tkm	Lognormal	2,1	24.15+39+10 kg=73.15kg est uniquement le poids de la partie disposée de la Nacelle exclaunt le metal (distance est de 50 km). =0,07315*50=3.6575 le reyclage du metal inclaunt son transport n'est pas pris en considération
	Waste and emission to treatment						
		Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill/CH U	24,15	kg	Lognormal	1,3	Fin de vie de la partie mobile. uncertainty of input plus composition of glass fibre reinforced plastic
		Disposal, glass, 0% water, to inert material landfill/CH U	39	kg	Lognormal	1,3	uncertainty of input plus composition of glass fibre reinforced plastic
		Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH U	10	kg	Lognormal	1,15	own estimation
	F213-Fin de vie des composantes de raccordement de la partie mobile 30 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Uniquement la fin de vie des parties non metalliques est prises en consideration. Fin de vie au Québec. L'incinération a été remplacée par l'enfouissement.**
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	21,5	tkm	Lognormal	2,1	246+20+164 kg=430kg est uniquement le poids de la partie disposée des composantes de raccordement exclaunt le metal (distance est de 50 km). =0,430*50=21.5 Le reyclage du metal inclaunt son transport n'est pas pris en consideration
	Waste and emission to treatment						
		Disposal, polyethylene, 0.4% water, to sanitary landfill/CH U	246	kg	Lognormal	3,3	own estimation
		Disposal, polypropylene, 15.9% water, to sanitary landfill/CH U	20	kg	Lognormal	3,3	own estimation
		Disposal, polyvinylchloride, 0.2% water, to sanitary landfill/CH U	164	kg	Lognormal	3,3	own estimation
	F121-Fin de vie de la tour de la partie fixe 22 m		**1**	**p**	**Amount**		**Uniquement la fin de vie des parties non metalliques est prises en consideration. Fin de vie au Québec. L'incinération a été remplacée par l'enfouissement.**
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	1,85	tkm	Lognormal	2,1	37 kg est uniquement le poids de la partie disposée de la tour exclaunt le metal (distance est de 50 km). =0,037*50=1.85. Le reyclage du metal inclaunt son transport n'est pas pris en consideration
	Waste and emission to treatment						
		Disposal, glass, 0% water, to inert material landfill/CH U	37	kg	Lognormal	1,32	Epoxy resin liquid at plant 37 kg avec 1,32 incertitude
	F122-Fin de vie de la fondation de la partie fixe 22 m		**1**	**p**	**Amount**		**Uniquement la fin de vie des parties non metalliques est prises en consideration.**
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	2552	tkm	Lognormal	2,1	51040 kg est uniquement le poids de la partie disposée de la fondation exclaunt le metal (distance est de 50 km). =51,040*50=2552 Le reyclage du metal inclaunt son transport n'est pas pris en consideration
	Waste and emission to treatment						
		Disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill/CH U	51040	kg	Lognormal	1,32	Concreate normal at plant 23,2m3 =51040 kg avec 1.32 incertitude

Système éolien de petite puissance de 10 kW

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
	S34-P1 Condition moyenne Électricité, turbine éolienne 10kW		**1**	**kWh**	**Energy**		**Adapté de electricity, at wind power plant Simplon 30kW/kWh/CH 'Énergie Moyenne pour une vitesse moyenne de vent par exemple :Blanc Sablon à 5,6 m/s (20,16km/h) mésuré à 10 m et corrigé pour 30 m. L'altitude du site est de 37m Énergie Moyenne est estimé à 24338.10 kWh (selon la courbe de performance du manufacturier) Cette production a été corrigé pour la performance de l'onduleur *93,5 % performance de l'onduleur, la production est egale à 22756,03 kWh**
		P22-Production de la partie mobile 10 kW	2,20E-06	p	Lognormal	1,1	En supossant une production de 22,756 MWh/an* 20 ans. donc 1 /(22,756*20)= 2,2E-06
		P11-Production de la partie fixe 30 m	1,10E-06	p	Lognormal	1,1	Le meme raisonnement sapplique mais sur 40 ans 1,1E-06
		I22-Installation de la partie mobile 10 kW	2,20E-06	p	Lognormal	1,1	
		I11-Installation de la partie fixe 30 m	1,10E-06	p	Lognormal	1,1	
		E22-Exploitation de la partie mobile 10 kW	2,20E-06	p	Undefined	0	l'incertitude de l'exploitation est prise en consideration dans l'etape E22
		F22-Fin de vie de la partie mobile 10 kW	2,20E-06	p	Lognormal	1,1	
		F11-Fin de vie de la partie fixe 30 m	1,10E-06	p	Lognormal	1,1	

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
	P22-Production de la partie mobile 10 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Adapté de wind power plant 30kW, moving parts/p/CH/I The moving parts are composed of the rotor, made of glass fibre reinforced plastic and small amounts of steel, and the nacelle, whose components are mainly made of different types of steel and plastics and small amounts of aluminium and copper. The copper cables, connecting the generator to the electricity grid, and various electronic components are also accounted for in the moving parts, because they are assumed to have the same lifetime. Similarly to the fixed parts, processing, transport of materials to the manufacturer and from it to the location of final installation, as well as the energy requirement for assembling and final installation**
		P221-Production du Rotor de la partie mobile 10 kW	1	p	Undefined		l'incertitude est prise en consideration dans P221
		P222-Production de la Nacelle de la partie mobile 10 kW	1	p	Undefined		l'incertitude est prise en consideration dans P222
		P223-Production des composantes de raccordement de la partie mobile 10 kW	10/3 = 3,33	p	Undefined	0	les composantes de raccordement sont dimentionné en pour une 3kW. Pour ramener linventaire à 10 kw, le tout a été multiplie par 10|3. La durée de vie est la même que pour la partie mobile l'incertitude est prise en consideration dans P223
		P224- Production de l'onduleur 2500W de la partie mobile 10 kW	8	p	Undefined	0	L'onduleur est un 2500 W. Pour ramener linventaire à 10 kw, le tout a été multiplié par 4(10/2.5) pour obtenir la puissance requise . La durée de vie est de 15 ans selon Ecoinvent. donc deux onduleur seront nécessaire . l'inventaire de ce dernier sera multiplié par 8 (20/2.5) En cohérence avec l'approche adopté pour PV (voir S12 et S11 PV) l'incertitude est prise en consideration dans P224
		Corrugated board, recycling fibre, double wall, at plant/RER U	12,46	kg	Undefined	0	2 boites sont nécessaires la première a une dimension de type 188 * 91* 140 cm La deuxième a des dimensions égales : 307 * 28 * 28 voir Excel. Pour les dimension de la boite, la surface totale des deux boites = 148288 cm2 =((307*28*2)+(307*28*2)+ (28*28*2)Première boite)+ ((188*91*2)+(188*140*2)+(91*140*2) Deuxième boite)
		Packaging film, LDPE, at plant/RER U	2,67E-01	kg	Undefined	0	S= (285*61*2)+ (285 * 31 * 2) + (31* 61 * 2) L'épaisseur du PE = 50 micron (source http://www.freepatentsonline.com/EP1990187.html) ce qui donne un volume de 281,1 m3 =5,622*0,00005*950 (densité selon Ecoinvent)
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	34	tkm	Undefined	0	Uniquement le transport de la palettes en bois est pris en considération Palette en bois (réutilisée dans d'autres systèmes de produits) Poids total de l'emballage=68 kg*500/1000=34

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
	P11-Production de la partie fixe 30 m		**1**	**p**	**Amount**		**Adapté de wind power plant 30kW, fixed parts/p/CH/I 24-30 are the most commun heights (30 recommended). La tour est légèrement inférieur à l'intervalle recommandé. La partie fixe est en trellis (free standing lattice) (forme tres souvent applique. Ref: Small Wind Turbine Summary: Canadian and Major U.S. Models Available)**
		P111-Production de la tour de la partie fixe 30 m	1	p	Undefined	0	L'incertitude est prise en consideration dans P111
		P112-Production de la fondation de la partie fixe 30 m	1	p	Undefined	0	L'incertitude est prise en consideration dans P112
	I22-Installation de la partie mobile 10 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Renvoie à l'installation de la partie mobile au QC**
		Electricity, medium voltage, at grid - Qc U	2	kWh	Lognormal	2	own estimation. The additional Electricity, including horizontal movements and thus losses Electricity, medium voltage, at grid/CH U a été adapté pour une installation au QC : Electricity medium voltage, at grid- Qc
		Electricity, medium voltage, production - Am N, at grid U	238	kWh	Lognormal	2	own estimation - a power consumption of 0.5 kWh / kg pour une masse totale de 476 kg (poids net sans emballage) Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U adapte Am du Nord
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	816	tkm	Lognormal	2,1	transport de 544 kg sur 1500 km (distance US-QC) (incluant les pieces de rechange sur la duree de vie de la partie mobile) ce poids inclus lemballage, le rotor et la nacelle le transport le londuleur et le raccodement est inclus dans I223 et I224
		I223-Installation des composantes de raccordement de la partie mobile 10 kW	10/3 = 3,33	p	Undefined	0	les composantes de raccordement sont dimentionné en pour une 3kW. Pour ramener linventaire à 10 kw, le tout a été multiplie par 10|3. La durée de vie est la même que pour la partie mobile l'incertitude est prise en consideration dans I223
		I224-Installation de l'onduleur 2500W de la partie mobile 10 kW	8	p	Undefined	0	L'onduleur est un 2500 W. Pour ramener linventaire à 10 kw, le tout a été multiplié par 4(10/2.5) pour obtenir la puissance requise . La durée de vie est de 15 ans selon Ecoinvent. donc deux onduleur seront nécessaire. l'inventaire de ce dernier sera multiplié par 8 (20/2.5) l'incertitude est prise en consideration dans I224
	I11-Installation de la partie fixe 30 m		**1**	**p**	**Amount**		**Installation de la partie fixe (la tour et la fondation)**
		Transformation, to industrial area, built up	22,3	m2	Lognormal	1,21	Uniquement la transormation du terrain pour l' installation de la fondation de 4,7224*4,7224 a été considéré incluant l'occupation de cette surface dans le temps (40 ans d'occupation: durée de vie de la tour) =4,7224*4,7224 (selon le manufacturier Excel.SSV.IM.8.03.pdf)The concrete is ready delivered mixed
		Occupation, industrial area, built up	892,04	m2a	Lognormal	1,21	own estimation. =40*22,30
		Diesel, burned in building machine/GLO U	5070	MJ	Lognormal	1,65	own estimation 118 kg selon Ecoinvent This will require a crane with lifting capacity to handle the combined weight of turbine and tower, and a convenient area of reasonably level ground for assembly of the tower-turbine combination.
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	118689,82	tkm	Lognormal	2,1	standard for transprts = 1.9368889t de tour + 77.07167 t de fondation+ 0,118 de Diesel = 79,126*1500km (distance US-QC)
	E22-Exploitation de la partie mobile 10 kW		**1**	**p**	**Amount**		**The gear (20 liters) every 4 years should be changed. At a density of 0.84 kg / l and a assumed life of the moving parts of 20 years, 84 kg is needed. It is assumed that for 5 oil changes in 20 years, a person with the car from Brig on the Simplon drives and back (40 km).**
		Energy, kinetic (in wind), converted	1,63E+06	MJ	Lognormal	1,3	ne varie pas avec la puissance 3.87*21000*20=1.63E6 own assumption, based on interval of conversion efficiencies

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
		Lubricating oil, at plant/RER U	15	kg	Lognormal	1,65	3kg huile *5 changement (20 ans de duree de vie)=15 kg Quantite total independant du rendement de leolienne ne varie pas avec la puissance
		Transport, passenger car/RER U	201,6	personkm	Lognormal	2,2	4.8E-4 *21000*20 ans=201.6 Quantite total independant du rendement de leolienne 201,6 implique 201,6 lm de deplacement pour toute la duree de vie de leolienne (40 km par chaque 4 ans)
	Waste and emission to treatment						
		Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH U	15	kg	Lognormal	1,76	3kg huile *5 changement (20 ans de duree de vie)=15 kg Quantite totale independant du rendement de l'eolienne
	F22-Fin de vie de la partie mobile 10 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Uniquement la fin de vie des parties non metalliques est prise en consideration**
		F221-Fin de vie du Rotor de la partie mobile 10 kW	1	p	Undefined	0	
		F222-Fin de vie de la Nacelle de la partie mobile 10 kW	1	p	Undefined	0	
		F223-Fin de vie des composantes de raccordement de la partie mobile 10 kW	10/3=3,33	p	Undefined	0	les composantes de raccordement sont dimentionné en pour une 3kW. Pour ramener linventaire à 10 kw, le tout a été multiplie par 10|3. La durée de vie est la même que pour la partie mobile l'incertitude est prise en consideration dans F223
		F224- Fin de vie de l'onduleur 2500W de la partie mobile 10 kW	8	p	Undefined	0	L'onduleur est un 2500 W. Pour ramener linventaire à 10 kw, le tout a été multiplié par 4(10/2.5) pour obtenir la puissance requise . La durée de vie est de 15 ans selon Ecoinvent. donc deux onduleur seront nécessaire. l'inventaire de ce dernier sera multiplié par 8 (20/2.5) l'incertitude est prise en consideration dans F224
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	0,636	tkm	Undefined	0	=12.46+2.67E-1*50/1000
		Electricity, medium voltage, at grid - Qc U	240	kWh	Lognormal	2	La même quantité d'électricité pour l'installation et l'assamblage de la partie mobile est nécessaire pour le démontage et la fin de vie (voir I 22) a power consumption of 0.5 kWh / kg pour une masse totale de 476 kg Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U adapte Qc
	Waste and emission to treatment						
		Disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to inert material landfill/CH U	12,46	kg	Undefined	0	Voir P22
		Disposal, polyethylene, 0.4% water, to sanitary landfill/CH U	2,67E-01	kg	Undefined	0	Voir P22
	F11-Fin de vie de la partie fixe 30 m		**1**	**p**	**Amount**		
		F111-Fin de vie de la tour de la partie fixe 30 m	1	p	Undefined	0	lincertitude est prise en consideration dans F111
		F112-Fin de vie de la fondation de la partie fixe 30 m	1	p	Undefined	0	lincertitude est prise en consideration dans F112
		Diesel, burned in building machine/GLO U	5070	MJ	Lognormal	1,65	la meme quantite a ete utilisé supposant que celle ci depend uniquement des heures de desintallation l'energie necessaire pour le demontage n pas ete prise en consideration. la meme quantite necessaire pour le montage a ete considere avec la meme incertitude.

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
	P221-Production du Rotor de la partie mobile 10 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Adapté de wind power plant 30kW, moving parts/p/CH/I Hypothèse de linearite en fonction de la puissance, sauf lorsque des données spécifiques sur l'éolienne étaient disponibles**
		Cast iron, at plant/RER U	23,53	kg	Lognormal	1,32	Quantite de fer nécessaire pour le Hub (Noyeu)
		Chromium steel 18/8, at plant/RER U	41,1	kg	Lognormal	1,32	Chrome nécessaire pour le drivetrain- disque qui joint les pales
		Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant/RER U	65	kg	Lognormal	1,21	3 pales selon la fiche technique de la bergey 10 kW(Excel.SSV.IM.8.03.pdf) Les pales en fibre de verre (65kg) avec 42.25 Kg Glass(65%) et 22.75 Plastics (35%) selon les pourcentages proposés dans le rapport ecoinvent PV
		Sheet rolling, chromium steel/RER U	41,1	kg	Lognormal	1,32	Pour glass fibre et Cast iron pas de processus sont affichés (comme c'est le cas pour le chrome). ces derniers sont inclus dans materials

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	69,315	tkm	Lognormal	2,1	transport de (41.10+23.53+65) kg =0,13863 sur 500 km (distance US-US) ce transport correspond a lapprovisionnement de la matiere premiere
	P222-Production de la Nacelle de la partie mobile 10 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Adapté de wind power plant 30kW, moving parts/p/CH/I Hypothèse de linearite en fonction de la puissance**
		Aluminium, primary, at plant/RER U	4,38	kg	Lognormal	1,21	Aluminium necessaire pour la generatrice
		Cast iron, at plant/RER U	56,29	kg	Lognormal	1,32	Génératrice
		Chromium steel 18/8, at plant/RER U	178,24	kg	Lognormal	1,32	Le chrome est utilise par toute les sous composantes de la nacelle
		Copper, at regional storage/RER U	5,06	kg	Lognormal	3,3	Cuivre necessaire pour la generatrice
		Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant/RER U	17,87	kg	Lognormal	1,21	fibre de verre necessaire pour le panneaux dacces de la nacelle
		Lubricating oil, at plant/RER U	2,98	kg	Lognormal	1,15	huile de lubrification pour YAW drive- Mécanisme à Lacet (permet dorienter la nacelle)
		Synthetic rubber, at plant/RER U	0,94	kg	Lognormal	1,65	au niveau de lembrayage
		Steel, low-alloyed, at plant/RER U	80,59	kg	Lognormal	1,15	pour l"Acier du YAW drive- Mécanisme à Lacet (permet dorienter la nacelle) + 66 kg Tail Boom - Queue de direction(ref: Excel.SSV.IM.8.03.pdf) et (ref:Homebrew Wind Power Par Dan Bartmann, Dan Fink, Mick Sagrillo pour la composition)
		Section bar rolling, steel/RER U	80,59	kg	Lognormal	1,32	
		Sheet rolling, aluminium/RER U	4,38	kg	Lognormal	1,21	own estimation
		Sheet rolling, chromium steel/RER U	178,24	kg	Lognormal	1,32	own estimation
		Wire drawing, copper/RER U	5,06	kg	Lognormal	3,3	own estimation
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	173,1792836	tkm	Lognormal	2,1	transport de (4.38+...+80.59) kg=0.34635 * 500 km (distance US-US)
	P223-Production des composantes de raccordement de la partie mobile 10 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Adapté de electric installation, photovoltaic plant, at plant/p/CH/I (for a 3 kWp plant). Ce processus n'est pas adapté en fonction de la puissance (cette étape se fait dans P22) Hypothèse de linearite en fonction de la puissance voir p 120 sur 181 Par contre, la longueur des fils a été adaptée en fonction de la hauteur de la tour 30 m pour une 10 kW. (voir fichier Excel) Les composantes de racoordement sont les cables, l'interrupteur, etc. (voir p 123 sur 181)**
		Copper, at regional storage/RER U	18,58	kg	Lognormal	1	
		Brass, at plant/CH U	0,02	kg	Lognormal	1	
		Zinc, primary, at regional storage/RER U	0,04	kg	Lognormal	1	
		Steel, low-alloyed, at plant/RER U	0,86	kg	Lognormal	1	
		Nylon 6, at plant/RER U	0,23	kg	Lognormal	1	
		Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	20,93	kg	Lognormal	1	
		Polyvinylchloride, bulk polymerised, at plant/RER U	0	kg	Lognormal	1	ne s'applique pas
		Polycarbonate, at plant/RER U	0,2	kg	Lognormal	1	
		Epoxy resin, liquid, at plant/RER U	0	kg	Lognormal	1	ne s'applique pas
		Wire drawing, copper/RER U	18,58	kg	Lognormal	1	
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	20,43142931	tkm	Lognormal	1	Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U et Transport, freight, rail/CH U ont été remplacé par Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U Les distances ont également été changées pour du (US-US) 500 km. ce qui donne 40,9kg *500/1000= 20.43142931 tkm
	P224- Production de l'onduleur 2500W de la partie mobile 10 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Adapté de inverter, 2500W, at plant/p/RER/ Hyp: l'inventaire de l'onduleur ne varie avec la fréquence du signal (EU 50 Hz ou US= 60 Hz) voir ecoinvent PV pour extrapoler en puissance p116 sur 181 (par exemple pour 3kW , on multiplie 2500W par 1.2 pour un 3000W) The inverter investigated for this study has a capacity of 2.5 kW. Thus, a factor of 1.25 has been used for the 3kWp plant p131 sur 181 Pv.pdf**
		Electricity, medium voltage, production - Am N, at grid U	21,2	kWh	Lognormal	1,3117	l'électricité a été adapté à un contexte nord americain.
		Aluminium, production mix, cast alloy, at plant/RER U	1,4	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), recycled after use

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
		Copper, at regional storage/RER U	5,51	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), recycled after use
		Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U	9,8	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), recycled after use
		Styrene-acrylonitrile copolymer, SAN, at plant/RER U	0,01	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
		Polyvinylchloride, at regional storage/RER U	0,01	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
		Printed wiring board, through-hole, at plant/GLO U	0,2246	m2	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
		Connector, clamp connection, at plant/GLO U	0,237	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
		Inductor, ring core choke type, at plant/GLO U	0,351	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
		Integrated circuit, IC, logic type, at plant/GLO U	0,028	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
		Transistor, wired, small size, through-hole mounting, at plant/GLO U	0,038	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
		Diode, unspecified, at plant/GLO U	0,047	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
		Capacitor, film, through-hole mounting, at plant/GLO U	0,341	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
		Capacitor, electrolyte type, > 2cm height, at plant/GLO U	0,256	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
		Capacitor, Tantalum-, through-hole mounting, at plant/GLO U	0,023	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Assumption for Ceramic Multilayer Chip Capacitors
		Resistor, metal film type, through-hole mounting, at plant/GLO U	0,005	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
		Sheet rolling, steel/RER U	9,8	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
		Wire drawing, copper/RER U	5,51	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
		Section bar extrusion, aluminium/RER U	1,4	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
		Metal working factory/RER/I U	8,97E-09	p	Lognormal	3,0611	(2,4,1,1,1,5); Calculation, based on annual production of electronic component production plant
		Corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant/RER U	2,5	kg	Lognormal	1,2423	(2,4,1,1,1,5); Calculation, based on estimated dimension of inverse rectifier
		Polystyrene foam slab, at plant/RER U	0,3	kg	Lognormal	1,3117	(2,3,4,1,1,5); Literature (Schwarz 1992)
		Fleece, polyethylene, at plant/RER U	0,06	kg	Lognormal	1,3117	(2,3,4,1,1,5); Literature (Schwarz 1992)
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	17,7835	tkm	Lognormal	2,095	Transport, lorry >16t, fleet average/RER U a été supprimé et affecté en fin de vie Transport, freight, rail/RER U a été remplacé par Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U. Les distances ont également été changé pour du (US-US) 500 km. ce qui donne 7,1134*500/200= 17.7835 tkm pour les composantes electroniques, le mode de transport est resté le même en gardant la meme hypothese que les composantes électroniques viennent de l'outre-mer. Par contre la distances a été baissé à 7000 km (pour rester coherent. 18000 km est également un peu élevé) =36,271*7000/18000
		Transport, transoceanic freight ship/OCE U	14,10538889	tkm	Lognormal	2,095	
	Emissions to air (high pop)						
		Heat, waste	76,32	MJ	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Calculation
	P111-Production de la tour de la partie fixe 30 m		**1**	**p**	**Amount**		**wind power plant 30kW, fixed parts/p/CH/I**
		Epoxy resin, liquid, at plant/RER U	13,1689	kg	Lognormal	1,32	vérifié (même si la tour est plus haute, elle est moins lourde.(Une en trellis VS une tubulaire) =(37kg d'epoxy/5299 du poids total de la tour de 22 m)*1886 poids de la tour de 30 m
		Steel, low-alloyed, at plant/RER U	1923,72	kg	Lognormal	1,21	1886 kg poids de la tour selon le manuel d'installation du manufacturier + 37,72 kg (2 % du poids de la tour total en boulon et piece d'assemblage pour assembler les parties (my own estimation)
		Sheet rolling, steel/RER U	1923,72	kg	Lognormal	1,21	own estimation
		Welding, arc, steel/RER U	0	m	Lognormal	1,32	Ne sapplique pas : Pas de soudure, uniquement un assemblage par boulon est considéré
		Zinc coating, pieces/RER U	26,86	m2	Lognormal	1,3	=(74/5299)*1923.72
		Zinc coating, pieces, adjustment per um/RER U	537,29	m2	Lognormal	1,3	(1480/5299)*1923.72
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	968,44445	tkm	Lognormal	2,1	transport de (13.1689+1923.72kg) =1936.8889 sur 500 km (distance US-US) ce transport correspond a lapprovisionnement de la matiere premiere
	P112-Production de la fondation de la partie fixe 30 m		**1**	**p**	**Amount**		**Adapté de wind power plant 30kW, fixed parts/p/CH/I**

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
		Concrete, normal, at plant/CH U	33,48	m3	Lognormal	1,32	Blasting RER U 10 Kg a été supprimé. Elle ne s'applique dans un contexte d'autoproducteur comparativement dans le cas d'un parc eolien comme Ecoinvent proposait. The concrete is ready delivered mixed =1,5*4,7224*4,7224 (selon le manufacturier)- selon le ministère des tranport la profondeur du gel est comprise entre 1,2 et 3) 1.5 a ete choisi
		Reinforcing steel, at plant/RER U	3415,82	kg	Lognormal	1,21	own estimation 2370 kg Steel est inclus dans le process pour 51040 mise à l'echelle pour 73656 =(2367/51040)*33.48*2200
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	38535,84	tkm	Lognormal	2,1	le transport a également été changé de transport lorry 20-28t pour transport lorry 3.5-20t transport de (33.48*2200+3415,82 kg) = 77071,67 sur 500 km (distance US-US) ce transport correspond à l'approvisionnement en matiere premiere (gradle to gate)
	I223-Installation des composantes de raccordement de la partie mobile 10 kW		**1**	**p**	**Amount**		
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	53,593	tkm	Lognormal	1	Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U a été ajouté. La distance (US-Qc) 1500 km représente la distance entre le manufacturier et l'utilisateur (client). ce qui donne 35,729kg *1500/1000= 53,529 tkm
	I224-Installation de l'onduleur 2500W de la partie mobile 10 kW		**1**	**p**	**Amount**		
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	53,3505	tkm	Lognormal	1	Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U correspond a la livraison du fabricant vers le client pour linstallation . La distances (US-QC) est egal a 1500 km. comparativement à 200 = 7,1134*1500/200= 53.3505 tkm
	F221-Fin de vie du Rotor de la partie mobile 10 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Uniquement la fin de vie des parties non metalliques est prises en consideration. Fin de vie au Québec. L'incinération a été remplacée par l'enfouissement.**
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	3,25	tkm	Lognormal	2,1	65 kg est uniquement le poids de la partie disposée du Rotor exclaunt le metal (distance est de 50 k) . le reyclage du metal inclaunt son transport n'est pas pris en considération =0,065*50=7.3 3 pales. selon la fiche technique de la bergey 10 kW(Excel.SSV.IM.8.03.pdf) Les pales en fibre de verre (65kg) avec 42.25 Kg Glass(65%) et 22.75 Plastics (35%) selon les pourcentages proposés dans le rapport ecoinvent PV
	Waste and emission to treatment						
		Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill/CH U	22,75	kg	Lognormal	1,3	Fin de vie de la partie mobile. uncertainty of input plus composition of glass fibre reinforced plastic
		Disposal, glass, 0% water, to inert material landfill/CH U	42,25	kg	Lognormal	1,3	uncertainty of input plus composition of glass fibre reinforced plastic
	F222-Fin de vie de la Nacelle de la partie mobile 10 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Uniquement la fin de vie des parties non metalliques est prises en consideration. Fin de vie au Québec. L'incinération a été remplacée par l'enfouissement.**
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	1,042	tkm	Lognormal	2,1	17.87+2.98 kg=20.84kg est uniquement le poids de la partie disposée de la Nacelle exclaunt le metal (distance est de 50 k) . le reyclage du metal inclaunt son transport n'est pas pris en considération =20.84*50=1.042
	Waste and emission to treatment						
		Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill/CH U	6,25	kg	Lognormal	1,3	35 % du 17.87 kg de la fibre de verre est composé de matière plastique Fin de vie de la partie mobile uncertainty of input plus composition of glass fibre reinforced plastic
		Disposal, glass, 0% water, to inert material landfill/CH U	11,61	kg	Lognormal	1,3	65 % du 17.87 kg de la la fibre de verre est composé de verre uncertainty of input plus composition of glass fibre reinforced plastic

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
		Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH U	2,98	kg	Lognormal	1,15	Quantité ecoinvent adaptée à la puissance huile de lubrification pour YAW drive- Mécanisme à Lacet (permet dorienter la nacelle). Incinération conservée pour la gestion des déchets dangereux
	F223-Fin de vie des composantes de raccordement de la partie mobile 10 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Adapte du Unit process raw data of the electric installation for a 3 kWp plant** **Par consequent il faut adapter en fonction de la puissance** **Hypothèse de linearite en fonction de la puissance voir p 120 sur 181** **Par contre, la longueur des fils a été adaptée en fonction de la hauteur de la tour 30 m pour une 10 kW.** **For the dismantling of photovoltaic power plants standard scenarios from the ecoinvent project have been taken into account. Larger metal parts of the system and silicon are recycled. The remaining parts are incinerated or landfilled. voir 05_EnergySystemsSummary.pdf** **Neither environmental burdens nor credits have been considered for the recycling. pv.pdf p 129 sur 181** **Fin de vie au Québec. L'incinération a été remplacée par l'enfouissement.**
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	1,071	tkm	Lognormal	2,1	La fin de vie est considérée au QC le transport des déchets vers le site d'enfouissement a été modifié pour une distance QC-QC: 50 km =(21.36+0,06) *50'/1000
	Waste and emission to treatment						
		Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill/CH U	21,36	kg	Lognormal	1	Remplace Disposal, plastic, industr. electronics, 15.3% water, to municipal incineration/CH U
		_Disposal, building, electric wiring, to final disposal/CH U	0,06	kg	Lognormal	1	Donnée modifiée pour enlever le transport, plastique à l'enfouissement et cuivre exclu (considéré recyclé et faisant partie d'un autre système).
	F224- Fin de vie de l'onduleur 2500W de la partie mobile 10 kW		**1**	**p**	**Amount**		**Uniquement la fin de vie des parties non metalliques est prises en consideration.** **Fin de vie au Québec. L'incinération a été remplacée par l'enfouissement.**
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	1,916333333	tkm	Lognormal	2,1	La fin de vie est considérée au QC le transport des déchets vers le site d'enfouissement a été modifié pour une distance QC-QC: 50 km =2,2996 *50/60 (4,5,na,na,na,na); Standard distance 60km incl. disposal
	Waste and emission to treatment						
		Disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to sanitary landfill/CH U	2,5	kg	Lognormal	1,2491	Incinération remplacée par Enfouissement
		Disposal, polystyrene, 0.2% water, to sanitary landfill/CH U	0,31	kg	Lognormal	1,2491	Incinération remplacée par Enfouissement
		Disposal, polyethylene, 0.4% water, to sanitary landfill/CH U	0,06	kg	Lognormal	1,2491	Incinération remplacée par Enfouissement
		Disposal, treatment of printed wiring boards/GLO U	1,7028	kg	Lognormal	1,2491	
	F111-Fin de vie de la tour de la partie fixe 30 m		**1**	**p**	**Amount**		**Uniquement la fin de vie des parties non metalliques est prises en consideration.** **Fin de vie au Québec. L'incinération a été remplacée par l'enfouissement.**
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	0,658445	tkm	Lognormal	2,1	13.1689 kg est uniquement le poids de la partie disposée de la tour excluant le metal (distance est de 50 k) . le reyclage du metal inclaunt son transport n'est pas pris en considération =0,0131689*50=1.85
	Waste and emission to treatment						
		Disposal, glass, 0% water, to inert material landfill/CH U	13,1689	kg	Lognormal	1,32	Manque d'information sur la quantite du materiel =(37kg d'epoxy/5299du poids total de la tour de 22 m)*1886 poids de la tour de 30 m
	F112-Fin de vie de la fondation de la partie fixe 30 m		**1**	**p**	**Amount**		**Uniquement la fin de vie des parties non metalliques est prises en consideration.**
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	3679,67	tkm	Lognormal	2,1	73655,85 kg est uniquement le poids de la partie disposée de la fondation exclaunt le metal (distance est de 50 k) . le reyclage du metal inclaunt son transport n'est pas pris en considération =73.65585*50=2552
	Waste and emission to treatment						

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
		Disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill/CH U	73655,85	kg	Undefined	0	The concrete is ready delivered mixed =1,5*4,7224*4,7224*2200 =73655,85 (selon le manufacturier)-selon le ministère des tranport la profondeur du gel est comprise entre 1,2 et 3) 1.5 a ete choisi

Système éolien de petite puissance de 1 kW

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
	S56-P1 Condition moyenne Électricité, turbine éolienne 1kW		**1**	**kWh**	**Energy**		**Adapté de electricity, at wind power plant Simplon 30kW/kWh/CH 'Énergie Moyenne pour une vitesse moyenne de vent par exemple :Blanc Sablon à 5,6 m/s (20,16km/h) mésuré à 10 m L'altitude du site est de 37m Énergie Moyenne est estimé à 2475 kWh (selon la courbe de performance du manufacturier) Cette production a été corrigé pour la performance de l'onduleur *93,5 % performance de londuleur, la production est egal a 2314,125 kwh**
		P23-Production de la partie mobile 1 kW	2,20E-05	p	Lognormal	1,1	Posant une production de 2314,125kwh/an* 20 ans . donc 1/(2314,125*20)=2,2E-05
		P13-Production de la partie fixe 10 m	1,10E-05	p	Lognormal	1,1	Le meme raisonnement sapplique mais sur 40 ans 1,1E-05
		I23-Installation de la partie mobile 1 kW	2,20E-05	p	Lognormal	1,1	
		I13-Installation de la partie fixe 10 m	1,10E-05	p	Lognormal	1,1	
		E23-Exploitation de la partie mobile 1 kW	2,20E-05	p	Undefined	0	l'incertitude de l'exploitation est prise en consideration dans l'etape E23
		F23-Fin de vie de la partie mobile 1 kW	2,20E-05	p	Lognormal	1,1	
		F13-Fin de vie de la partie fixe 10 m	1,10E-05	p	Lognormal	1,1	

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Min	Commentaires /hypothèses / Référence
	P23-Production de la partie mobile 1 kW		**1**	**p**	**Amount**			**Adapté de wind power plant 30kW, moving parts/p/CH/I 'Poids total de nacelle et du rotor =34 kg (ref XL1.24.OM.V2.2.pdf) The moving parts are composed of the rotor, made of glass fibre reinforced plastic and small amounts of steel, and the nacelle, whose components are mainly made of different types of steel and plastics and small amounts of aluminium and copper. The copper cables, connecting the generator to the electricity grid, and various electronic components are also accounted for in the moving parts, because they are assumed to have the same lifetime. Similarly to the fixed parts, processing, transport of materials to the manufacturer and from it to the location of final installation, as well as the energy requirement for assembling and final installation**
		P231-Production du Rotor de la partie mobile 1 kW	1	p	Undefined	0		l'incertitude est prise en consideration dans P231
		P232-Production de la Nacelle de la partie mobile 1 kW	1	p	Undefined	0		l'incertitude est prise en consideration dans P232
		P233-Production des composantes de raccordement de la partie mobile 1 kW	1/3 = 0,333	p	Undefined	0		les composantes de raccordement sont dimentionn pour une 3kW. Pour ramener linventaire à 1 kw, le tout a été divisé par 3. La durée de vie est la même que pour la partie mobile l'incertitude est prise en consideration dans P233
		P234- Production de l'onduleur 2500W de la partie mobile 1 kW	2/2,5 = 0,8	p	Undefined	0		L'onduleur est un 2500 W. Pour ramener linventaire à 1 kw, le tout a été divisé par 2.5 pour obtenir la puissance requise . La durée de vie est de 15 ans selon Ecoinvent. donc deux onduleur seront nécessaire. l'inventaire de ce dernier sera multiplié par 0.8 (2/2.5) En cohérence avec l'approche adapté pour PV (voir S12 et S11 PV) l'incertitude est prise en consideration dans P234
		Corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant/RER U	0,89	kg	Undefined	0		scaling down (estimated). estmé à partir des données de la 10 kW =(14,8288*0,84)*34/476=0,89
		Packaging film, LDPE, at plant/RER U	1,91E-02	kg	Undefined	0		scaling down (estimated). estmé à partir des données de la 10 kW =(5,622*0,00005*950)*34/476=1.91E-2
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	0,455	tkm	Undefined	0		Absence de Palette en bois dans le cas d'une 1 kW 0,455=(1.91E-2+0.89)*500/1000
	P13-Production de la partie fixe 10 m		**1**	**p**	**Amount**			**Hauteur de tour typique de 10-20 m (confirmé par Leuzen et al, 2003) Utile en condition urbaine sur un toit, dans le cas ou le terrain ne possede pas d'obstacle (en face dun lac, terre agricole, etc)**
		P131-Production de la tour de la partie fixe 10 m	1	p	Undefined	0		L'incertitude est prise en consideration dans P131
		P132-Production de la fondation de la partie fixe 10 m	1	p	Undefined	0		L'incertitude est prise en consideration dans P132
	I23-Installation de la partie mobile 1 kW							**Renvoie à l'installation de la partie mobile au QC**
		Electricity, medium voltage, at grid - Qc U	2	kWh	Lognormal	2		own estimation. The additional Electricity, including horizontal movements and thus losses Electricity, medium voltage, at grid/CH U a été adapté pour une installation au QC : Electricity medium voltage, at grid- Qc

Electricity, medium voltage, production - Am N, at grid U	17	kWh	Lognormal	2	own estimation a power consumption of 0.5 kWh / kg pour une masse totale de 34 kg poids net sans emballage Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U adapte nord america
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	52,365	tkm	Lognormal	2,1	transport de 34.91 kg sur 1500 km (distance US-QC) (incluant les pieces de rechange sur la duree de vie de la partie mobile) ce poids inclut l'emballage, le rotor et la nacelle le transport le londuleur et le raccodement est inclus dans I223 et I224
I233-Installation des composantes de raccordement de la partie mobile 1 kW	1/3 = 0,333	p	Undefined	0	les composantes de raccordement sont dimentionnées en pour une 3kW. Pour ramener l'inventaire à 1 kw, le tout a été divisé par 3. La durée de vie est la même que pour la partie mobile l'incertitude est prise en consideration dans I233
I234-Installation de l'onduleur 2500W de la partie mobile 1 kW	2/2,5=0,8	p	Undefined	0	L'onduleur est un 2500 W. Pour ramener l'inventaire à 1 kw, le tout a été divisé par 2.5 pour obtenir la puissance requise . La durée de vie est de 15 ans selon ecoinvent. donc deux onduleurs seront nécessaires. l'incertitude est prise en consideration dans I234
I13-Installation de la partie fixe 10 m	**1**	**p**	**Amount**		**Installation de la partie fixe (la tour et la fondation)**
Transformation, to industrial area, built up	1,13	m2	Lognormal	1,21	Uniquement la transformation du terrain pour l' installation de la fondation de 1.06*1.06 a été déduit incluant l'occupation de cette surface dans le temps (40 ans d'occupation: durée de vie de la tour) le volume total de la fondation =1.7 m3= 1.06*1.06*1.5 (1.5 profondeur du gel) chiffre pose par hypothese pour une tour de 10 m
Occupation, industrial area, built up	45,33	m2a	Lognormal	1,21	=40*1
Diesel, burned in building machine/GLO U	5070	MJ	Lognormal	1,65	own estimation 118 kg selon Ecoinvent This will require a crane with lifting capacity to handle the combined weight of turbine and tower, and a convenient area of reasonably level ground for assembly of the tower-turbine combination.
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	6980,89	tkm	Lognormal	2,1	standard for transprts =0,4183276448t de tour + 4.117600078 t de fondation+ 0,118 de Diesel = 4.6539t*1500km (distance US-QC)
E23-Exploitation de la partie mobile 1 kW	**1**	**p**	**Amount**		**The gear (20 liters) every 4 years should be changed. At a density of 0.84 kg / l and a assumed life of the moving parts of 20 years, 84 kg is needed. It is assumed that for 5 oil changes in 20 years, a person with the car from Brig on the Simplon drives and back (40 km).**
Energy, kinetic (in wind), converted	1,63E+06	MJ	Lognormal	1,3	ne varie pas avec la puissance 3.87*21000*20=1.63E6 own assumption, based on interval of conversion efficiencies
Lubricating oil, at plant/RER U	1,05	kg	Lognormal	1,65	0,21kg huile *5 changement (20 ans de duree de vie)=1.05 kg Quantite total independamant du rendement de leolienne
Transport, passenger car/RER U	201,6	personkm	Lognormal	2,2	ne varie pas avec la puissance 4.8E-4 *21000*20 ans=201.6 Quantite total independamant du rendement de leolienne 201,6 implique 201,6 lm de deplacement pour toute la duree de vie de leolienne (40 km par chaque 4 ans)
Waste and emission to treatment					
Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH U	1,05	kg	Lognormal	1,76	0,21kg huile *5 changement (20 ans de duree de vie)=1.05 kg Quantite totale independant du rendement de l'eolienne
F23-Fin de vie de la partie mobile 1 kW	**1**	**p**	**Amount**		**Uniquement la fin de vie des parties non metalliques est prise en consideration**
F231-Fin de vie du Rotor de la partie mobile 1 kW	1	p	Undefined	0	l'incertitude est prise en consideration dans F231
F232-Fin de vie de la Nacelle de la partie mobile 1 kW	1	p	Undefined	0	l'incertitude est prise en consideration dans F232
F233-Fin de vie des composantes de raccordement de la partie mobile 1 kW	1/3 = 0,333	p	Undefined	0	les composantes de raccordement sont dimentionné en pour une 3kW. Pour ramener linventaire à 1 kw, le tout a été divisé par 3. La durée de vie est la même que pour la partie mobile l'incertitude est prise en consideration dans F233

	F234- Fin de vie de l'onduleur 2500W de la partie mobile 1 kW	2/2,5=0,8	p	Undefined	0		L'onduleur est un 2500 W. Pour ramener linventaire à 1 kw, le tout a été divisé par 2.5 pour obtenir la puissance requise . La durée de vie est de 15 ans selon Ecoinvent. donc deux onduleur seront nécessaire. l'incertitude est prise en consideration dans F234
	Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	0,045	tkm	Undefined	0		=12.46+2.67E-1*50/1000
	Electricity, medium voltage, at grid - Qc U	240	kWh	Lognormal	2		La même quantité d'électricité pour l'installation et l'assamblage de la partie mobile est nécessaire pour le démontage et la fin de vie (voir I 23) a power consumption of 0.5 kWh / kg pour une masse totale de 34 kg Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U adapte Qc
Waste and emission to treatment							
	Disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to inert material landfill/CH U	0,89	kg	Undefined	0		Voir P23
	Disposal, polyethylene, 0.4% water, to sanitary landfill/CH U	1,91E-02	kg	Undefined	0		Voir P23
F13-Fin de vie de la partie fixe 10 m		**1**	**p**	**Amount**			
	F131-Fin de vie de la tour de la partie fixe 10 m	1	p	Undefined	0		l'incertiture est prise en consideration dans F131
	F132-Fin de vie de la fondation de la partie fixe 10 m	1	p	Undefined	0		l'incertiture est prise en consideration dans F132
	Diesel, burned in building machine/GLO U	5070	MJ	Lognormal	1,65		la meme quantite a ete utilisé supposant que celle ci depend uniquement des heures de desintallation l'energie necessaire pour le demontage n pas ete prise en consideration. la meme quantite necessaire pour le montage a ete considere avec la meme incertitude.

Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Min	Commentaires /hypothèses / Référence
P231-Production du Rotor de la partie mobile 1 kW		**1**	**p**	**Amount**			**Adapté de wind power plant 30kW, moving parts/p/CH/I Hypothèse de linearite en fonction de la puissance**
	Cast iron, at plant/RER U	1,68	kg	Lognormal	1,32		Quantite de fer nécessaire pour le Hub (Noyeu)
	Chromium steel 18/8, at plant/RER U	2,94	kg	Lognormal	1,32		Chrome nécessaire pour le drivetrain- disque qui joint les pales
	Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant/RER U	4,64	kg	Lognormal	1,21		3 pales (poids non disponible) selon la fiche technique de la bergey 10 kW(Excel.SSV.IM.8.03.pdf) Les pales en fibre de verre (4.64kg) avec 3.02 Kg Glass(65%) et 1,63 Plastics (35%) selon les pourcentages proposés dans le rapport ecoinvent PV
	Sheet rolling, chromium steel/RER U	2,94	kg	Lognormal	1,32		Pour glass fibre et Cast iron pas de processus sont affichés (comme c'est le cas pour le chrome). ces derniers sont inclus dans materials
	Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	4,63	tkm	Lognormal	2,1		transport de (1.68+2.94+4.64) kg =9,26 kg sur 500 km (distance US-US) ce transport correspond a lapprovisionnement de la matiere premiere
P232-Production de la Nacelle de la partie mobile 1 kW		**1**	**p**	**Amount**			**Adapté de wind power plant 30kW, moving parts/p/CH/I Hypothèse de linearite en fonction de la puissance**
	Aluminium, primary, at plant/RER U	0,31	kg	Lognormal	1,21		Aluminium necessaire pour la generatrice
	Cast iron, at plant/RER U	4,02	kg	Lognormal	1,32		Fonte nécessaire pour 'Getriebe-Gear box-Boîte à vitesse et Generator - Generator- Génératrice
	Chromium steel 18/8, at plant/RER U	12,73	kg	Lognormal	1,32		Le chrome est utilise par toute les sous composantes de la nacelle
	Copper, at regional storage/RER U	0,36	kg	Lognormal	3,3		Cuivre necessaire pour la generatrice
	Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant/RER U	1,28	kg	Lognormal	1,21		fibre de verre necessaire pour le panneaux dacces de la nacelle
	Lubricating oil, at plant/RER U	0,21	kg	Lognormal	1,15		huile de lubrification pour YAW drive- Mécanisme à Lacet (permet dorienter la nacelle)
	Synthetic rubber, at plant/RER U	0,07	kg	Lognormal	1,65		au niveau de lembrayage
	Steel, low-alloyed, at plant/RER U	5,76	kg	Lognormal	1,15		pour l"Acier du YAW drive- Mécanisme à Lacet (permet dorienter la nacelle) + 66 kg Tail Boom - Queue de direction(ref: Excel.SSV.IM.8.03.pdf) et (ref:Homebrew Wind Power Par Dan Bartmann, Dan Fink, Mick Sagrillo pour la composition)
	Section bar rolling, steel/RER U	5,76	kg	Lognormal	1,32		
	Sheet rolling, aluminium/RER U	0,31	kg	Lognormal	1,21		own estimation
	Sheet rolling, chromium steel/RER U	12,73	kg	Lognormal	1,32		own estimation
	Wire drawing, copper/RER U	0,36	kg	Lognormal	3,3		own estimation
	Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	12,36994883	tkm	Lognormal	2,1		transport de (0.31+...+5.76) kg=24.740 * 500 km (distance US-US)

P233-Production des composantes de raccordement de la partie mobile 1 kW	1 p	Amount		Adapté de electric installation, photovoltaic plant, at plant/p/CH/I (for a 3 kWp plant). Ce processus n'est pas adapté en fonction de la puissance (cette étape se fait dans P23) Hypothèse de linearite en fonction de la puissance voir p 120 sur 181 Par contre, la longueur des fils a été adaptée en fonction de la hauteur de la tour 10 m pour une 1 kW. Les composantes de racoordement sont les cables, l'interrupteur, etc. (voir p 123 sur 181)
Copper, at regional storage/RER U	13 kg	Lognormal	1	
Brass, at plant/CH U	0,02 kg	Lognormal	1	
Zinc, primary, at regional storage/RER U	0,04 kg	Lognormal	1	
Steel, low-alloyed, at plant/RER U	0,86 kg	Lognormal	1	
Nylon 6, at plant/RER U	0,23 kg	Lognormal	1	
Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	14,29 kg	Lognormal	1	
Polyvinylchloride, bulk polymerised, at plant/RER U	0 kg	Lognormal	1	ne s'applique pas
Polycarbonate, at plant/RER U	0,2 kg	Lognormal	1	
Epoxy resin, liquid, at plant/RER U	0 kg	Lognormal	1	ne s'applique pas
Wire drawing, copper/RER U	13 kg	Lognormal	1	
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	14,32201143 tkm	Lognormal	1	Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U et Transport, freight, rail/CH U ont été remplacé par Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U Les distances ont également été changé pour du (US-US) 500 km. ce qui donne 28,6 kg *500/1000=14,32201143 tkm

P234- Production de l'onduleur 2500W de la partie mobile 1 kW	1 p	Amount		Adapté de inverter, 2500W, at plant/p/RER/ Hyp: l'inventaire de l'onduleur ne varie avec la fréquence du signal (EU 50 Hz ou US= 60 Hz) voir ecoinvent PV pour extrapoler en puissance p116 sur 181 (par exemple pour 3kW , on multiplie 2500W par 1.2 pour un 3000W) The inverter investigated for this study has a capacity of 2.5 kW. Thus, a factor of 1.25 has been used for the 3kWp plant p131 sur 181 Pv.pdf
Electricity, medium voltage, production - Am N, at grid U	21,2 kWh	Lognormal	1,3117	l'électricité a été adapté à un contexte nord americain.
Aluminium, production mix, cast alloy, at plant/RER U	1,4 kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), recycled after use
Copper, at regional storage/RER U	5,51 kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), recycled after use
Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U	9,8 kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), recycled after use
Styrene-acrylonitrile copolymer, SAN, at plant/RER U	0,01 kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
Polyvinylchloride, at regional storage/RER U	0,01 kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
Printed wiring board, through-hole, at plant/GLO U	0,2246 m2	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
Connector, clamp connection, at plant/GLO U	0,237 kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
Inductor, ring core choke type, at plant/GLO U	0,351 kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
Integrated circuit, IC, logic type, at plant/GLO U	0,028 kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
Transistor, wired, small size, through-hole mounting, at plant/GLO U	0,038 kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
Diode, unspecified, at plant/GLO U	0,047 kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
Capacitor, film, through-hole mounting, at plant/GLO U	0,341 kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
Capacitor, electrolyte type, > 2cm height, at plant/GLO U	0,256 kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
Capacitor, Tantalum-, through-hole mounting, at plant/GLO U	0,023 kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Assumption for Ceramic Multilayer Chip Capacitors
Resistor, metal film type, through-hole mounting, at plant/GLO U	0,005 kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
Sheet rolling, steel/RER U	9,8 kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
Wire drawing, copper/RER U	5,51 kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
Section bar extrusion, aluminium/RER U	1,4 kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
Metal working factory/RER/I U	8,97E-09 p	Lognormal	3,0611	(2,4,1,1,1,5); Calculation, based on annual production of electronic component production plant
Corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant/RER U	2,5 kg	Lognormal	1,2423	(2,4,1,1,1,5); Calculation, based on estimated dimension of inverse rectifier
Polystyrene foam slab, at plant/RER U	0,3 kg	Lognormal	1,3117	(2,3,4,1,1,5); Literature (Schwarz 1992)
Fleece, polyethylene, at plant/RER U	0,06 kg	Lognormal	1,3117	(2,3,4,1,1,5); Literature (Schwarz 1992)
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	17,7835 tkm	Lognormal	2,095	Transport, lorry >16t, fleet average/RER U a été supprimé et affecté en fin de vie Transport, freight, rail/RER U a été remplacé par Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U. Les distances ont également été changé pour du (US-US) 500 km. ce qui donne 7,1134*500/200= 17.7835 tkm

Transport, transoceanic freight ship/OCE U	14,10538889	tkm	Lognormal	2,095		pour les composantes electroniques, le mode de transport est resté le même en gardant la meme hypothese que les composantes électroniques viennent de l'outre-mer. Par contre la distances a été baissé à 7000 km (pour rester coherent. 18000 km est également un peu élevé) =36,271*7000/18000
Emissions to air (high pop)						
Heat, waste	76,32	MJ	Lognormal	1,2226	0	(2,3,1,1,1,5); Calculation
P131-Production de la tour de la partie fixe 10 m	**1**	**p**	**Amount**			**la tour de 10 m est de forme conique comme celle de 22 m ecoinvent (mise à l'échelle a été adapté pour les informations manquantes)**
Epoxy resin, liquid, at plant/RER U	2,852644839	kg	Lognormal	1,32		mise à l'échelle a été adapté =37*408.545/5299
Steel, low-alloyed, at plant/RER U	408,545	kg	Lognormal	1,21		241 or 445 kg pour du 6.5 or 11m hight (source Conergy Pty Ltd windpower.pdf) +1 % pour inclure la soudure (voir Ecoinvent) =404,5*1,01
Sheet rolling, steel/RER U	408,545	kg	Lognormal	1,21		own estimation
Welding, arc, steel/RER U	6,476274769	m	Lognormal	1,32		mise à l'échelle a été adapté à partir des hypotèses d'Ecoinvent(own estimation) =84*408.545/5299=6,476274769
Zinc coating, pieces/RER U	5,705289677	m2	Lognormal	1,3		mise à l'échelle a été adapté à partir des hypotèses d'Ecoinvent(own estimation) =74*408.545/5299=5,705289677
Zinc coating, pieces, adjustment per um/RER U	114,1057935	m2	Lognormal	1,3		mise à l'échelle a été adapté à partir des hypotèses d'Ecoinvent(own estimation) =1480*408.545/5299=114,1057935 Selon le rapport la quantite de zinc néessaire est de 90 kg (avec une mise mise à l'échelle =90*408.545/5299=6.93 serait néessaire pour taiter la tour
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	209,1638224	tkm	Lognormal	2,1		transport de (2.852644839+408.545 kg+6,93 kg) =0,4183276448 sur 500 km (distance US-US) ce transport correspond a lapprovisionnement de la matiere premiere
P132-Production de la fondation de la partie fixe 10 m	**1**	**p**	**Amount**			**Adapté de wind power plant 30kW, fixed parts/p/CH/I**
Concrete, normal, at plant/CH U	1,788685412	m3	Lognormal	1,32		Blasting RER U 10 Kg a été supprimé. Elle ne s'applique dans un contexte d'autoproducteur comparativement dans le cas d'un parc eolien comme Ecoinvent proposait own estimation 51040kg selon Ecoinvent mise à l'échelle a été adapté à partir des hypotèses d'Ecoinvent =23,2*408,54/5299
Reinforcing steel, at plant/RER U	182,4921712	kg	Lognormal	1,21		own estimation 2370 kg Steel est inclus dans le process mise à l'échelle a été adapté à partir des hypotèses d'Ecoinvent =2370*408,54/5299
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	2058,800039	tkm	Lognormal	2,1		le transport a également été changé de transport lorry 20-28t pour transport lorry 3.5-20t transport de (3935,107907+182.4921712 kg) =4117,600078 kg sur 500 km (distance US-US) ce transport correspond a l'approvisionnement en matiere premiere (gradle to gate)
I233-Installation des composantes de raccordement de la partie mobile 1 kW	**1**	**p**	**Amount**			
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	53,529	tkm	Lognormal	1		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U a été ajouté. La distance (US-Qc) 1500 km représente la distance entre le manufacturier et l'utilisateur (client). ce qui donne 35,729kg *1500/1000= 53,529 tkm
I234-Installation de l'ondulleur 2500W de la partie mobile 1 kW	**1**	**p**	**Amount**			
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	53,3505	tkm	Lognormal	1		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U correspond a la livraison du fabricant vers le client pour linstallation . La distances (US-QC) est egal a 1500 km. comparativement à 200 = 7,1134*1500/200= 53.3505 tkm

F231-Fin de vie du Rotor de la partie mobile 1 kW	**1 p**	**Amount**		**Uniquement la fin de vie des parties non metalliques est prises en consideration. Fin de vie au Québec. L'incinération a été remplacée par l'enfouissement.**
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	0,232 tkm	Lognormal	2,1	4.64 kg est uniquement le poids de la partie disposée du Rotor exclaunt le metal (distance est de 50 k) . le reyclage du metal inclaunt son transport n'est pas pris en considération =0,00464*50=0.232
Waste and emission to treatment				
Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill/CH U	1,63 kg	Lognormal	1,3	Fin de vie de la partie mobile. 3 pales (poids non disponible) les pourcentages dEcoinvent ont ete adapte avec la fiche technique de la bergey 10 kW(Excel.SSV.IM.8.03.pdf) Les pales en fibre de verre (4.64kg) avec 3.02 Kg Glass(65%) et 1,63 Plastics (35%) selon les pourcentages proposés dans le rapport ecoinvent PV uncertainty of input plus composition of glass fibre reinforced plastic
Disposal, glass, 0% water, to inert material landfill/CH U	3,02 kg	Lognormal	1,3	uncertainty of input plus composition of glass fibre reinforced plastic
F232-Fin de vie de la Nacelle de la partie mobile 1 kW	**1 p**	**Amount**		**Uniquement la fin de vie des parties non metalliques est prises en consideration. Fin de vie au Québec. L'incinération a été remplacée par l'enfouissement.**
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	0,0745 tkm	Lognormal	2,1	1.28+0.21 kg=1.49kg est uniquement le poids de la partie disposée de la Nacelle exclaunt le metal (distance est de 50 k) . le reyclage du metal inclaunt son transport n'est pas pris en considération =0,00149*50=0.0745tkm
Waste and emission to treatment				
Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill/CH U	0,45 kg	Lognormal	1,3	35 % du 1,28 kg de la fibre de verre est composé de matière plastique Fin de vie de la partie mobile uncertainty of input plus composition of glass fibre reinforced plastic
Disposal, glass, 0% water, to inert material landfill/CH U	0,83 kg	Lognormal	1,3	65 % du 1,28 kg de la la fibre de verre est composé de verre uncertainty of input plus composition of glass fibre reinforced plastic
Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH U	0,21 kg	Lognormal	1,15	Hypothèse de linearite en fonction de la puissance huile de lubrification pour YAW drive- Mécanisme à Lacet (permet dorienter la nacelle). Incinération conservée pour la gestion des déchets dangereux
F233-Fin de vie des composantes de raccordement de la partie mobile 1 kW	**1 p**	**Amount**		**Adapte du Unit process raw data of the electric installation for a 3 kWp plant Par consequent il faut adapter en fonction de la puissance Hypothèse de linearite en fonction de la puissance voir p 120 sur 181 Par contre, la longueur des fils a été adaptée en fonction de la hauteur de la tour 30 m pour une 10 kW. For the dismantling of photovoltaic power plants standard scenarios from the ecoinvent project have been taken into account. Larger metal parts of the system and silicon are recycled. The remaining parts are incinerated or landfilled. voir 05_EnergySystemsSummary.pdf Neither environmental burdens nor credits have been considered for the recycling. pv.pdf p 129 sur 181 Fin de vie au Québec. L'incinération a été remplacée par l'enfouissement.**
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	0,7395 tkm	Lognormal	2,1	La fin de vie est considérée au QC le transport des déchets vers le site d'enfouissement a été modifié pour une distance QC-QC: 50 km =(14.73+0,06) *50'/1000
Waste and emission to treatment				
Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill/CH U	21,36 kg	Lognormal	1	Remplace Disposal, plastic, industr. electronics, 15.3% water, to municipal incineration/CH U
_Disposal, building, electric wiring, to final disposal/CH U	0,06 kg	Lognormal	1	Donnée modifiée pour enlever le transport, plastique à l'enfouissement et cuivre exclu (considéré recyclé et faisant partie d'un autre système).
F234- Fin de vie de l'ondulleur 2500W de la partie mobile 1 kW	**1 p**	**Amount**		**Uniquement la fin de vie des parties non metalliques est prises en consideration. Fin de vie au Québec. L'incinération a été remplacée par l'enfouissement.**
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	1,916333333 tkm	Lognormal	2,1	La fin de vie est considérée au QC le transport des déchets vers le site d'enfouissement a été modifié pour une distance QC-QC: 50 km =2,2996 *50/60 (4,5,na,na,na,na); Standard distance 60km incl. disposal
Waste and emission to treatment				

Disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to sanitary landfill/CH U	2,5	kg	Lognormal	1,2491	Incinération remplacée par Enfouissement
Disposal, polystyrene, 0.2% water, to sanitary landfill/CH U	0,31	kg	Lognormal	1,2491	Incinération remplacée par Enfouissement
Disposal, polyethylene, 0.4% water, to sanitary landfill/CH U	0,06	kg	Lognormal	1,2491	Incinération remplacée par Enfouissement
Disposal, treatment of printed wiring boards/GLO U	1,7028	kg	Lognormal	1,2491	
F131-Fin de vie de la tour de la partie fixe 10 m	**1**	**p**	**Amount**		**Uniquement la fin de vie des parties non metalliques est prises en consideration. Fin de vie au Québec. L'incinération a été remplacée par l'enfouissement.**
					2.852644839 kg est uniquement le poids de la partie disposée de la tour exclaunt le metal (distance est de 50 k) . le reyclage du metal inclaunt son transport n'est pas pris en considération
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	0,1426	tkm	Lognormal	2,1	=2.852644839*50|1000=0.1426
Waste and emission to treatment					
Disposal, glass, 0% water, to inert material landfill/CH U	2,852644839	kg	Lognormal	1,32	mise à l'échelle a été adapté =37*408.545/5299
F132-Fin de vie de la fondation de la partie fixe 10 m	**1**	**p**	**Amount**		**Uniquement la fin de vie des parties non metalliques est prises en consideration.**
					3935.107907 kg est uniquement le poids de la partie disposée de la fondation exclaunt le metal (distance est de 50 k) . le reyclage du metal inclaunt son transport n'est pas pris en considération
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	196,7553954	tkm	Lognormal	2,1	=3.935107907*50=196.7553954
Waste and emission to treatment					
Disposal, concrete, 5% water, to inert material landfill/CH U	3935,107907	kg	Undefined	0	mise à l'échelle a été adopté à partir des hypotèses d'Ecoinvent =23,2*408,54/5299=51040 kg avec 1.32 incertitude

Système photovoltaïque monocristallin (conditions moyennes)

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
	S11-P1-Condition moyenne Électricité, système photovolatique single-Si		**1**	**kWh**	**Energy**		**Adapté de electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, single-Si, panel, mounted/kWh/CH** **Rayonnement solaire horizontal (kWh/m2/j) La tuque 3.37 (RETScreen)** **Rayonnement solaire Horizontal(kWh/m2/an) 1230,05; Incliné 15°, orienté sud: 4,2 kWh/m².j (1533kWh/m².an)** **Mésuré à 10m (altitude du site =37m)** **Renvoie a une condition moyenne au Qc , avec un facteur de conversion de 0,75, l'énergie produite est de 1150 kwh/kWp** **Energie sur le cycle de vie de 30 ans = 3*1150*30=1,035E+05 kWh** **donc pour 1 kWh on utilise 1/1,035E+05= 9,66E-06** **L'efficacité des panneaux est considérée dans la quantité de panneaux nécessaires pour produire cette quantité d'énergie** **L'efficacité de l'inverter est également considérée (The average efficiency of solar**
		P11 - Production du panneau photovolatique single-Si	1/production_30ans*surface_totale =2,13E-4	m2	Lognormal	1,2366	9,66E-06*22.071=2,13E-04 Voir tableau 11.2 ecoinvent #6, Part XII (p.118) Il est considere que 21,4 m2 sont necessaires pour un 3kWp +3% (reparation et rejet)=22,042 correspond a 22.071 de Simapro (3,4,3,1,1,5); Calculation, 2% of modules repaired in the life time, 1% rejects
		P20 - Production de l'onduleur 2500W	1/production_30ans*2*3/2,5 = 2,32E-5	p	Lognormal	1,2366	9,66E-06*2,4 The lifetime of the inverter is assumed with 15 years. Thus, it must be exchanged once during the lifetime of the plant. The inverter investigated for this study has a capacity of 2.5 kW. Thus, a factor of 1.25 has been used for the 3kWp plant p131 sur 181 Pv.pdf (2,4,1,1,1,na); Literature, 1 repair in the life time
		P30 - Production des composantes de raccordement	1/production_30ans = 9,66E-6	p	Lognormal	1,2366	1*9,66E-06
		P40 - Production de la monture d'installation du panneau	1/production_30ans*surface_utile = 2,07E-04	m2	Lognormal	1,2366	9,66E-06*21.429
		I11 - Installation du panneau photovolatique single-Si	1/production_30ans*surface_totale =2,13E-4	m2	Lognormal	1,2366	
		I20 - Installation de l'onduleur 2500W	1/production_30ans*2*3/2,5 = 2,32E-5	p	Lognormal	1,2366	
		I30 - Installation des composantes de raccordement	1/production_30ans = 9,66E-6	p	Lognormal	1,2366	
		I40 - Installation de la monture d'installation du panneau	1/production_30ans*surface_utile = 2,07E-04	m2	Lognormal	1,2366	
		E11 - Exploitation du panneau photovolatique single-Si	1/production_30ans*surface_totale =2,13E-4	m2	Undefined		incertitude a ete change d'emplacement et est prise en consideration dans la phase de exploitation
		F11 - Fin de vie du panneau photovolatique single-Si	1/production_30ans*surface_totale =2,13E-4	m2	Lognormal	1,2366	
		F20 - Fin de vie de l'onduleur 2500W	1/production_30ans*2*3/2,5 = 2,32E-5	p	Lognormal	1,2366	
		F30 - Fin de vie des composantes de raccordement	1/production_30ans = 9,66E-6	p	Lognormal	1,2366	
		F40 - Fin de vie de la monture d'installation du panneau	1/production_30ans*surface_utile = 2,07E-04	m2	Lognormal	1,2366	

	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses
P11 - Production du panneau photovolatique single-Si		**1**	**m2**	**Area**		**Adapté de photovoltaic panel, multi-Si, at plant/m2/RER/I** **Unit process raw data for 1 m2 of PV panel. Investigated for the production of solar panels and laminates with 60 solar cells a 156*156cm2 with a capacity of 210Wp. Cell size and amount and capacity might differ between different producers.**
	Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	4,7107	kWh	Lognormal	1,1358	Adapte a un contexte nord americain. La quantite d'energie reste la meme. calculated mean figure of 3 companies
	Natural gas, burned in industrial furnace low-NOx >100kW/RER U	5,4071	MJ	Lognormal	1,1358	(3,3,1,1,1,3); calculated mean figure of 3 companies
	Photovoltaic panel factory/GLO/I U	4,00E-06	p	Lognormal	3,0162	(1,4,1,3,1,3); Literature
	Tap water, at user/RER U	21,286	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, glass rinsing and general use
	Tempering, flat glass/RER U	10,079	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007
	Wire drawing, copper/RER U	0,11269	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); estimation for use of copper wires
	Photovoltaic cell, multi-Si, at plant/RER U	0,93241	m2	Lognormal	1,1267	Hyp: Les cellules sont fabiriques en europe et envoyées aux USA pour la production du panneau PV final selon le tableau Tab. 7.4 Unit process raw data of solar cells in this study du rapport ecoinvent, le poids de 1 m2 =0,014 kg (avec 2,53 kg de materials necessaires pour sa production) ceci implique que pour 1m2 de panneau PV single Si, 0,93241*0,014 = 0,013 kg de PV cell est necessaire. 7000km de transport seront necessaire de l'Europe
	Aluminium alloy, AlMg3, at plant/RER U	2,6294	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, profile for frame
	Nickel, 99.5%, at plant/GLO U	0,00016277	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, plating on interconnect ribbons
	Brazing solder, cadmium free, at plant/RER U	0,0087647	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, Sn60Pb40 plating on tabbing material, Sn plating on interconnect/terminal ribbons
	Solar glass, low-iron, at regional storage/RER U	10,079	kg	Lognormal	1,2435	(1,4,1,3,3,3); de Wild 2007, 4mm thickness (3.2-4 mm for different producers), 1% losses, density 2.5 g/cm3
	Copper, at regional storage/RER U	0,11269	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, copper ribbons for cell interconnection
	Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant/RER U	0,18781	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, polyphenylenoxid for junction box

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
		Ethylvinylacetate, foil, at plant/RER U	1,0017	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, EVA consumption 0.96 kg/m2, 6% more than glass area
		Polyvinylfluoride film, at plant/US U	0,1104	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, back foil, for solar cell module, 350 micron thickness: 2x37 micron polyvinyl fluoride, 250 micron polyethylene terephthalate; 0.488 g/m2, 7% cutting loss
		Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant/RER U	0,37297	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, back foil, for solar cell module, 350 micron thickness: 2x37 micron polyvinyl fluoride, 250 micron polyethylene terephthalate; 0.488 g/m2, 7% cutting loss
		Silicone product, at plant/RER U	0,12195	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, kit to attach frame and junction box and for diaphragm of laminator
		Acetone, liquid, at plant/RER U	0,012959	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, cleaning fluid
		Methanol, at regional storage/CH U	0,0021556	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); GSS 2001, auxiliary material
		Vinyl acetate, at plant/RER U	0,0016434	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); GSS 2001, ethylacetat, auxiliary material
		Lubricating oil, at plant/RER U	0,0016069	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); GSS 2001, auxiliary material
		Corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant/RER U	1,0956	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, packaging estimation
		1-propanol, at plant/RER U	0,0081386	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, soldering flux, 95% propanol
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	7,873666667	tkm	Lognormal	2,095	Modifié de Transport, freight, rail/RER U (Standard distance 600km) Les distances ont également été changé pour du (US-US) 500 km. =(9.4484/600)*500=7.873666667
		Transport, transoceanic freight ship/OCE U	0,098	tkm	Lognormal	2,095	Transport, transoceanic freight ship/OCE U a été ajouté pour représenter le transport de la cellule de l'europe vers l'US Pour 1m2 de panneau PV single Si, 0,93241*0,015 = 0,014kg de PV cell est necessaire. 7000km de transport seront necessaire de Leurope (allemagne) vers US (http://www.dataloy.com/) =0,014E-3*7000
	Emissions to air (high. Pop)						
		Heat, waste	16,958	MJ	Lognormal	1,286	(3,4,3,3,1,5); Calculation, electricity use
	P20 - Production de l'onduleur 2500W		**1**	**p**	**Amount**		**Adapté de inverter, 2500W, at plant/p/RER/I** **Hypothèse: l'inventaire de l'onduleur ne varie pas avec la fréquence du signal (EU 50 Hz ou US= 60 Hz)** **voir ecoinvent PV pour extrapoler en puissance. "The inverter investigated for this study has a capacity of 2.5 kW. Thus, a factor of 1.25 has been used for the 3kWp plant" p131 sur 181 Pv.pdf**
		Electricity, medium voltage, production - Am N, at grid U	21,2	kWh	Lognormal	1,3117	l'électricité a été adapté à un contexte nord americain. (2,3,4,1,1,5); Literature (Schwarz 1992)
		Aluminium, production mix, cast alloy, at plant/RER U	1,4	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), recycled after use
		Copper, at regional storage/RER U	5,51	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), recycled after use
		Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U	9,8	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), recycled after use
		Styrene-acrylonitrile copolymer, SAN, at plant/RER U	0,01	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
		Polyvinylchloride, at regional storage/RER U	0,01	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
		Printed wiring board, through-hole, at plant/GLO U	0,2246	m2	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
		Connector, clamp connection, at plant/GLO U	0,237	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
		Inductor, ring core choke type, at plant/GLO U	0,351	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
		Integrated circuit, IC, logic type, at plant/GLO U	0,028	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
		Transistor, wired, small size, through-hole mounting, at plant/GLO U	0,038	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
		Diode, unspecified, at plant/GLO U	0,047	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
		Capacitor, film, through-hole mounting, at plant/GLO U	0,341	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
		Capacitor, electrolyte type, > 2cm height, at plant/GLO U	0,256	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
		Capacitor, Tantalum-, through-hole mounting, at plant/GLO U	0,023	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Assumption for Ceramic Multilayer Chip Capacitors
		Resistor, metal film type, through-hole mounting, at plant/GLO U	0,005	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
		Sheet rolling, steel/RER U	9,8	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
		Wire drawing, copper/RER U	5,51	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
		Section bar extrusion, aluminium/RER U	1,4	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
		Metal working factory/RER/I U	8,9722E-09	p	Lognormal	3,0611	(2,4,1,1,1,5); Calculation, based on annual production of electronic component production plant
		Corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant/RER U	2,5	kg	Lognormal	1,2423	(2,4,1,1,1,5); Calculation, based on estimated dimension of inverse rectifier
		Polystyrene foam slab, at plant/RER U	0,3	kg	Lognormal	1,3117	(2,3,4,1,1,5); Literature (Schwarz 1992)
		Fleece, polyethylene, at plant/RER U	0,06	kg	Lognormal	1,3117	(2,3,4,1,1,5); Literature (Schwarz 1992)
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	17,7835	tkm	Lognormal	2,095	Transport, lorry >16t, fleet average/RER U a été supprimé et affecté en fin de vie Transport, freight, rail/RER U a été remplacé par Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U. Les distances ont également été changé pour du (US-US) 500 km, ce qui donne 7,1134*500/200= 17.7835 tkm

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
		Transport, transoceanic freight ship/OCE U	14,10538889	tkm	Lognormal	2,095	pour les composantes electroniques, le mode de transport est resté le même en gardant la meme hypothese que les composantes électroniques viennent de l'outre-mer. Par contre la distances a été baissé à 7000 km (pour rester coherent avec la distance prise tout au long de la modelisation. 18000 km est également un peu élevé)
	Emissions to air (high. Pop)						
		Heat, waste	76,32	MJ	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Calculation
	P30 - Production des composantes de raccordement		**1**	**p**	**Amount**		**Adapté de electric installation, photovoltaic plant, at plant/p/CH/I (for a 3 kWp plant, adapté en fonction de la puissance. Hypothse de linearite en fonction de la puissance voir p 120 sur 181, rapport ecoinvent) Les composantes de racoordement sont les cables, l'interrupteur, etc. (voir p 123 sur 181)**
		Copper, at regional storage/RER U	14,7	kg	Lognormal	1	
		Brass, at plant/CH U	0,02	kg	Lognormal	1	
		Zinc, primary, at regional storage/RER U	0,04	kg	Lognormal	1	
		Steel, low-alloyed, at plant/RER U	0,86	kg	Lognormal	1	
		Nylon 6, at plant/RER U	0,23	kg	Lognormal	1	
		Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	17,61	kg	Lognormal	1	
		Polyvinylchloride, bulk polymerised, at plant/RER U	2,13	kg	Lognormal	1	
		Polycarbonate, at plant/RER U	0,2	kg	Lognormal	1	
		Epoxy resin, liquid, at plant/RER U	0,002	kg	Lognormal	1	
		Wire drawing, copper/RER U	14,7	kg	Lognormal	1	
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	17,896	tkm	Lognormal	1	Remplace Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U et Transport, freight, rail/CH U Les distances ont également été changé pour du (US-US) 500 km. ce qui donne 35,729kg *500/1000= 17,896 tkm (=35,8 kg voir Tab. 10.23 Unit process raw data of the electric installation for a 3 kWp plant)
	P40 - Production de la monture d'installation du panneau		**1**	**m2**	**Area**		**Adapte de slanted-roof construction, mounted, on roof/m2/CH/I LA monture represente le systeme sur lequel sera installe les panneaux PV "This is a common and simple type of mounting system. It has to be noted that the transport of the mounting structure is already included in the unit process raw data investigated for this part, while all other transports and the energy use for the construction process is included in the unit process raw data investigated in this chapter." (p 125 sur 181) Wafers, cells and modules are modelled per m2 in order to facilitate the use of the datasets**
		Aluminium, production mix, wrought alloy, at plant/RER U	2,5586	kg	Lognormal	2,0483	(1,2,1,1,1,na); Literature and own estimations
		Corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant/RER U	0,1203	kg	Lognormal	2,1801	(3,4,3,1,3,5); Schwarz et al. 1992
		Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	0,0012663	kg	Lognormal	2,0483	(1,2,1,1,1,na); Literature and own estimations, recycled PE
		Polystyrene, high impact, HIPS, at plant/RER U	0,0063316	kg	Lognormal	2,1801	(3,4,3,1,3,5); Schwarz et al. 1992
		Steel, low-alloyed, at plant/RER U	1,3534	kg	Lognormal	2,0483	(1,2,1,1,1,na); Literature and own estimations
		Section bar extrusion, aluminium/RER U	2,7353	kg	Lognormal	2,1801	(3,4,3,1,3,5); Estimation
		Sheet rolling, steel/RER U	1,3534	kg	Lognormal	2,1801	(3,4,3,1,3,5); Estimation
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	2	tkm	Lognormal	2,1419	Remplace Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U et Transport, freight, rail/CH U Les distances ont également été changé pour du (US-US) 500 km, ce qui donne 4kg *500/1000= 2 tkm (=4 kg voir Tab. 10.13 Unit process raw data of different mounting systems, ...) Transport, van<3.5 t CH U a ete supprime
	I11 - Installation du panneau photovolatique single-Si		**1**	**m2**	**Area**		**Represente linstallation du produit final au Qc. Les composantes sont transportées du manufacturier vers le client**
		Electricity, low voltage, at grid - Qc U	0,0107	kWh	Lognormal	1,285	Electricite adapte au quebec considerant import (3,4,3,1,1,5); Energy use for erection of 3kWp plant =0.23(kwh/p)/21.4(m2/p)
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	23,62095	tkm	Lognormal	2,0865	Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U a été ajouté. Les distances (US-Qc) 1500 km représente la distance entre le manufacturier et l'utilisateur (client). =(9.4484/600)*1500=23.62095
	Emissions to air (high. Pop)						
		Heat, waste	0,036365233	MJ	Lognormal	1,285	(3,4,3,1,1,5); calculated with electricity use =0.828(MJ/p)//22.769(m2/p)=0,036365233

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
	I20 - Installation de l'onduleur 2500W		**1**	**p**	**Amount**		
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	53,3505	tkm	Lognormal	2,095	Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U correspond a la livraison du fabricant vers le client pour linstallation . La distances (US-QC) est egal a 1500 km, ce qui donne 7,1134*1500/200= 53.3505 tkm
	I30 - Installation des composantes de raccordement		**1**	**p**	**Amount**		
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	53,529	tkm	Lognormal	1	Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U a été ajouté. La distance (US-Qc) 1500 km représente la distance entre le manufacturier et l'utilisateur (client). ce qui donne 35,729kg *1500/1000= 53,529 tkm
	I40 - Installation de la monture d'installation du panneau		**1**	**m2**	**Area**		
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	6	tkm	Lognormal	2,1419	Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U a été ajouté. Les distances (US-Qc) 1500 km représente la distance entre le manufacturier et l'utilisateur (client). ce qui donne 4kg *1500/1000= 6 tkm (=4 kg voir Tab. 10.13 Unit process raw data of different mounting systems, ...)
	E11 - Exploitation du panneau photovolatique single-Si		**1**	**m2**	**Area**		**Adapté de electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, multi-Si, panel, mounted/kWh/CH (ramené à un m²). les donnes ci bas font reference au panneau final avec son cadre et tout (et non pas a un 1 P12 par exemple) Estimation 20l d'eau/m2 panel selon ecoinvent The emissions due to maintenance operations are already considered in the inventories of the single components**
		Energy, solar, converted	14929,92787	MJ	Lognormal	1,0907	=3.8503*82980.6655(MJ/p)/21.4(m2/p)(m2/p)=14929,92787 (MJ/m2) (2,2,1,1,1,3); Energy loss in the system is included
		Tap water, at user/CH U	20	kg	Lognormal	1,0907	(2,2,1,1,1,3); Estimation 20l/m2 panel
	Emissions to air (high. Pop)						
		Heat, waste	970,4472502	MJ	Lognormal	1,05	Sur tout la duree de vie du panneau =0,25027*82980,6655 kwh /21.4(m2/p)=970.4472502 (MJ/m2)
	Waste and emission to treatment						
		Treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2/CH U	0,02	m³	Lognormal	1,0907	(2,2,1,1,1,3); Estimation 20l/m2 panel
	F11 - Fin de vie du panneau photovolatique single-Si		**1**	**m2**	**Area**		**La fin de vie est considérée au QC. les composantes metalliques et vitreux sont recycles à 100 % et ne sont pas pris en consideration dans la fin de vie For the dismantling of photovoltaic power plants standard scenarios from the ecoinvent project have been taken into account.The remaining parts are incinerated or landfilled. voir 05_EnergySystemsSummary.pdf. Neither environmental burdens nor credits have been considered for the recycling. pv.pdf p 129 sur 181.**
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	1,210485345	tkm	Undefined	0	le transport des déchets vers le site d'enfouissement a été ajouté (une distance QC-QC: 50 km) 0,03+0,1104+1.6861+0,0016069+21,286+1.0956 * 50k
		Electricity, low voltage, at grid - Qc U	0,0107	kWh	Lognormal	1,285	La quantité d'énergie pour démanteler le système a été ajouté basé sur celle nécessaire pour l'installation. Electricite adapte au quebec considerant import (3,4,3,1,1,5); Energy use for erection of 3kWp plant =0.23(kwh/p)/21.4(m2/p)
	Waste and emission to treatment						
		Disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary landfill/CH U	0,03	kg	Lognormal	1,1267	Enfouissement plutôt qu'incinération
		Disposal, polyvinylchloride, 0.2% water, to sanitary landfill/CH U	0,1104	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); Calculation, including disposal of the panel after life time. Remplace Disposal, polyvinylfluoride, 0.2% water, to municipal incineration/CH U (pas de processus d'enfouissement disponible)
		Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill/CH U	1,6861	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); Calculation, including disposal of the panel after life time. Enfouissement plutôt qu'incinération
		Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH U	0,0016069	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); Calculation, oil used during production. Incinération conservée, car déchet dangereux.
		Treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2/CH U	0,021286	m3	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); Calculation, water use
		Disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to sanitary landfill/CH U	1,0956	kg	Lognormal	1,1267	Pour etre coherent avec les autres etape du cycle de vie, a été ajouté pour la quantité de carton utilisé lors de la phase de production. La même incertitude a été affectée.

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
	F20 - Fin de vie de l'onduleur 2500W		**1**	**p**	**Amount**		**Fin de vie au Qc. L'incinération a été remplacée par l'enfouissement. The lifetime of the inverter is assumed with 15 years. Thus, it must be exchanged once during the lifetime of the plant. The inverter investigated for this study has a capacity of 2.5 kW. Thus, a factor of 1.25 has been used for the 3kWp plant p131 sur 181 Pv.pdf (rap. ecoinvent). For the dismantling of photovoltaic power plants standard scenarios from the ecoinvent project havebeen taken into account. Larger metal parts of the system and silicon are recycled. The remaining parts are incinerated or landfilled. voir 05_EnergySystemsSummary.pdf Neither environmental burdens nor credits have been considered for the recycling. pv.pdf p 129 sur 181**
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	1,916333333	tkm	Lognormal	2,095	La fin de vie est considérée au QC le transport des déchets vers le site d'enfouissement a été modifié pour une distance QC-QC: 50 km. =2,2996 *50/60
	Waste and emission to treatment						
		Disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to sanitary landfill/CH U	2,5	kg	Lognormal	1,2491	(2,3,1,5,1,5); Calculation, different geographical location
		Disposal, polystyrene, 0.2% water, to sanitary landfill/CH U	0,31	kg	Lognormal	1,2491	(2,3,1,5,1,5); Calculation, different geographical location
		Disposal, polyethylene, 0.4% water, to sanitary landfill/CH U	0,06	kg	Lognormal	1,2491	(2,3,1,5,1,5); Calculation, different geographical location
		Disposal, treatment of printed wiring boards/GLO U	1,7028	kg	Lognormal	1,2491	(2,3,1,5,1,5); Calculation, different geographical location
	F30 - Fin de vie des composantes de raccordement		**1**	**p**	**Amount**		**La fin de vie est considérée au QC. For the dismantling of photovoltaic power plants standard scenarios from the ecoinvent project have been taken into account. Larger metal parts of the system and silicon are recycled. The remaining parts are incinerated or landfilled. voir 05_EnergySystemsSummary.pdf Neither environmental burdens nor credits have been considered for the recycling. pv.pdf p 129 sur 181**
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	1,00886	tkm	Undefined	0	le transport des déchets vers le site d'enfouissement a été modifié pour une distance QC-QC: 50km =(20,1172+0,06) *50'/1000
	Waste and emission to treatment						
		Disposal, plastic, industr. electronics, 15.3% water, to municipal incineration/CH U	20,172	kg	Lognormal	1	L'incinération a été conservée car pas d'autre processus disponible.
		Disposal, building, electric wiring, to final disposal/CH U	0,06	kg	Lognormal	1	L'incinération a été conservée car pas d'autre processus disponible.
	F40 - Fin de vie de la monture d'installation du panneau		**1**	**m2**	**Area**		**La fin de vie est considérée au QC. L'incinération a été remplacée par l'enfouissement. For the dismantling of photovoltaic power plants standard scenarios from the ecoinvent project havebeen taken into account. Larger metal parts of the system and silicon are recycled. The remaining parts are incinerated or landfilled. voir 05_EnergySystemsSummary.pdf Neither environmental burdens nor credits have been considered for the recycling. pv.pdf p 129 sur 181**
		Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	0,006394895	tkm	Undefined	0	le transport des déchets vers le site d'enfouissement a été ajouté pour une distance QC-QC: 50km =(0.1203+0.0012663+0.0063316) *50
	Waste and emission to treatment						
		Disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to sanitary landfill/CH U	0,1203	kg	Lognormal	2,1801	(3,4,3,1,3,5); Calculated with use
		Disposal, polyethylene, 0.4% water, to sanitary landfill/CH U	0,0012663	kg	Lognormal	2,1801	(3,4,3,1,3,5); Disposal of plastics parts at end of life
		Disposal, polystyrene, 0.2% water, to sanitary landfill/CH U	0,0063316	kg	Lognormal	2,1801	(3,4,3,1,3,5); Disposal of plastics parts at end of life

Système photovoltaïque polycristallin (conditions moyennes)

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses / Référence
	S12-P1-Condition moyenne Électricité, système photovolatique multi-Si		**1**	**kWh**	**Energy**		**Adapte de electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, single-Si, panel, mounted/kWh/CH Rayonnement solaire Horizontal(kWh/m2/an): 1230,05 (RETScreen). Incliné 15°, orienté sud: 4,2 kWh/m².j (1533kWh/m².an) Mésuré à 10m (altitude du site =37m) Renvoie a une condition moyenne au Qc avec un facteur de conversion de 0,75, l'énergie produite est de 1150 kwh/kwp Energie sur le cycle de vie de 30 ans = 3*1150*30=1,035E+05 kWh donc pour 1 kWh on utilise 1/1,035E+05= 9,66E-06 L'efficacité des panneaux est considérée dans la quantité de panneaux nécessaires pour produire cette quantité d'énergie. L'efficacité de l'inverter est également considérée (The average efficiency of solar inverters is 93.5% (see chapter 10.9.2). The use of “energy, so-lar” equals 3.6 MJ/kWh / 93.5% = 3.85 MJ/kWh)**
		P12 - Production du panneau photovolatique multi-Si	1/production_30ans*surface_totale = 2,27E-04	m2	Lognormal	1,2366	9,66E-06*23.474 =2.27E-04 Voir tableau 11.2 ecoinvent. The lifetime of the inverter is assumed with 15 years. Thus, it must be exchanged once during the lifetime of the plant.(3/2.5)*2=2.4 IL est considere que 22.8 m2 sont necessaire pour un 3kWp +3% (reparation et rejet)=23,484 correspond a 23.474 de Simapro
		P20 - Production de l'onduleur 2500W	1/production_30ans*2*3/2,5 = 2,31E-05	p	Lognormal	1,2366	9,66E-06*2,4 The lifetime of the inverter is assumed with 15 years. Thus, it must be exchanged once during the lifetime of the plant.(3/2.5)*2=2.4 The inverter investigated for this study has a capacity of 2.5 kW. Thus, a factor of 1.25 has been used for the 3kWp plant p131 sur 181 Pv.pdf (2,4,1,1,1,na); Literature, 1 repair in the life time
		P30 - Production des composantes de raccordement	1/production_30ans = 9,66E-6	p	Lognormal	1,2366	1*9,66E-06
		P40 - Production de la monture d'installation du panneau	1/production_30ans*surface_utile = 2,20E-04	m2	Lognormal	1,2366	9,66E-06*22.79
		I12 - Installation du panneau photovolatique multi-Si	1/production_30ans*surface_totale = 2,27E-04	m2	Lognormal	1,2366	
		I20 - Installation de l'onduleur 2500W	1/production_30ans*2*3/2,5 = 2,31E-05	p	Lognormal	1,2366	
		I30 - Installation des composantes de raccordement	1/production_30ans = 9,66E-6	p	Lognormal	1,2366	
		I40 - Installation de la monture d'installation du panneau	1/production_30ans*surface_utile = 2,20E-04	m2	Lognormal	1,2366	
		E12 - Exploitation du panneau photovolatique multi-Si	1/production_30ans*surface_utile = 2,20E-04	m2	Undefined		incertitude a ete change d'emplacement et est prise en consideration dans la phase de exploitation
		F12 - Fin de vie du panneau photovolatique multi-Si	1/production_30ans*surface_totale = 2,27E-04	m2	Lognormal	1,2366	
		F20 - Fin de vie de l'onduleur 2500W	1/production_30ans*2*3/2,5 = 2,31E-05	p	Lognormal	1,2366	
		F30 - Fin de vie des composantes de raccordement	1/production_30ans = 9,66E-6	p	Lognormal	1,2366	
		F40 - Fin de vie de la monture d'installation du panneau	1/production_30ans*surface_utile = 2,20E-04	m2	Lognormal	1,2366	

No	Nom	Processus ecoinvent	Qté	Unité	Distribution	SD²	Commentaires /hypothèses
	P12 - Production du panneau photovolatique multi-Si		**1**	**m2**	**Area**		**Adapté de photovoltaic panel, multi-Si, at plant/m2/RER/I Unit process raw data for 1 m2 of PV panel. Investigated for the production of solar panels and laminates with 60 solar cells a 156*156cm2 with a capacity of 210Wp. Cell size and amount and capacity might differ between different producers.**
		Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	4,7107	kWh	Lognormal	1,1358	Adapte a un contexte nord americain. La quantite d'energie reste la meme. calculated mean figure of 3 companies
		Natural gas, burned in industrial furnace low-NOx >100kW/RER U	5,4071	MJ	Lognormal	1,1358	(3,3,1,1,1,3); calculated mean figure of 3 companies
		Photovoltaic panel factory/GLO/I U	0,000004	p	Lognormal	3,0162	(1,4,1,3,1,3); Literature
		Tap water, at user/RER U	21,286	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, glass rinsing and general use
		Tempering, flat glass/RER U	10,079	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007
		Wire drawing, copper/RER U	0,11269	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); estimation for use of copper wires
		Photovoltaic cell, multi-Si, at plant/RER U	0,93241	m2	Lognormal	1,1267	Hyp: Les cellules sont fabiriques en europe et envoyées aux USA pour la production du panneau PV final selon le tableau Tab. 7.4 Unit process raw data of solar cells in this study du rapport ecoinvent, le poids de 1 m2 =0,014 kg (avec 2,53 kg de materials necessaires pour sa production) ceci implique que pour 1m2 de panneau PV single Si, 0,93241*0,014 = 0,013 kg de PV cell est necessaire. 7000km de transport seront necessaire de l'Europe (Allemagne) vers US (http://www.dataloy.com/) (1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, Estimation 60 cells a 1.56dm2 +2% cell loss
		Aluminium alloy, AlMg3, at plant/RER U	2,6294	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, profile for frame
		Nickel, 99.5%, at plant/GLO U	0,00016277	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, plating on interconnect ribbons
		Brazing solder, cadmium free, at plant/RER U	0,0087647	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, Sn60Pb40 plating on tabbing material, Sn plating on interconnect/terminal ribbons
		Solar glass, low-iron, at regional storage/RER U	10,079	kg	Lognormal	1,2435	(1,4,1,3,3,3); de Wild 2007, 4mm thickness (3.2-4 mm for different producers), 1% losses, density 2.5 g/cm3
		Copper, at regional storage/RER U	0,11269	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, copper ribbons for cell interconnection
		Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant/RER U	0,18781	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, polyphenylenoxid for junction box
		Ethylvinylacetate, foil, at plant/RER U	1,0017	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, EVA consumption 0.96 kg/m2, 6% more than glass area
		Polyvinylfluoride film, at plant/US U	0,1104	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, back foil, for solar cell module, 350 micron thickness: 2x37 micron polyvinyl fluoride, 250 micron polyethylene terephthalate; 0.488 g/m2, 7% cutting loss

	Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant/RER U	0,37297	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, back foil, for solar cell module, 350 micron thickness: 2x37 micron polyvinyl fluoride, 250 micron polyethylene terephthalate; 0.488 g/m2, 7% cutting loss
	Silicone product, at plant/RER U	0,12195	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, kit to attach frame and junction box and for diaphragm of laminator
	Acetone, liquid, at plant/RER U	0,012959	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, cleaning fluid
	Methanol, at regional storage/CH U	0,0021556	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); GSS 2001, auxiliary material
	Vinyl acetate, at plant/RER U	0,0016434	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); GSS 2001, ethylacetat, auxiliary material
	Lubricating oil, at plant/RER U	0,0016069	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); GSS 2001, auxiliary material
	Corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant/RER U	1,0956	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, packaging estimation
	1-propanol, at plant/RER U	0,0081386	kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); de Wild 2007, soldering flux, 95% propanol
	Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	7,873666667	tkm	Lognormal	2,095	Modifié de Transport, freight, rail/RER U (Standard distance 600km) Les distances ont également été changé pour du (US-US) 500 km. =(9.4484/600)*500=7.873666667
	Transport, transoceanic freight ship/OCE U	0,091	tkm	Lognormal	2,095	Transport, transoceanic freight ship/OCE U a été ajouté pour représenter le transport de la cellule de l'europe vers les USA Pour 1m2 de panneau PVmulti Si, 0,93241*0,014 = 0,013kg de PV cell est necessaire. 7000km de transport seront necessaire de l'Europe (Allemagne) vers US (http://www.dataloy.com/)
Emissions to air (high. Pop)						
	Heat, waste	16,958	MJ	Lognormal	1,286	(3,4,3,3,1,5); Calculation, electricity use
P20 - Production de l'onduleur 2500W		**1**	**p**	**Amount**		**Adapté de inverter, 2500W, at plant/p/RER/I** **Hypothèse: l'inventaire de l'onduleur ne varie pas avec la fréquence du signal (EU 50 Hz ou US= 60 Hz)** **voir ecoinvent PV pour extrapoler en puissance. "The inverter investigated for this study has a capacity of 2.5 kW. Thus, a factor of 1.25 has been used for the 3kWp plant" p131 sur 181 Pv.pdf**
	Electricity, medium voltage, production - Am N, at grid U	21,2	kWh	Lognormal	1,3117	l'électricité a été adapté à un contexte nord americain. (2,3,4,1,1,5); Literature (Schwarz 1992)
	Aluminium, production mix, cast alloy, at plant/RER U	1,4	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), recycled after use
	Copper, at regional storage/RER U	5,51	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), recycled after use
	Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U	9,8	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), recycled after use
	Styrene-acrylonitrile copolymer, SAN, at plant/RER U	0,01	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U	0,01	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
	Printed wiring board, through-hole, at plant/GLO U	0,2246	m2	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
	Connector, clamp connection, at plant/GLO U	0,237	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
	Inductor, ring core choke type, at plant/GLO U	0,351	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
	Integrated circuit, IC, logic type, at plant/GLO U	0,028	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
	Transistor, wired, small size, through-hole mounting, at plant/GLO U	0,038	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
	Diode, unspecified, at plant/GLO U	0,047	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
	Capacitor, film, through-hole mounting, at plant/GLO U	0,341	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
	Capacitor, electrolyte type, > 2cm height, at plant/GLO U	0,256	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
	Capacitor, Tantalum-, through-hole mounting, at plant/GLO U	0,023	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Assumption for Ceramic Multilayer Chip Capacitors
	Resistor, metal film type, through-hole mounting, at plant/GLO U	0,005	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006), Calculation
	Sheet rolling, steel/RER U	9,8	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
	Wire drawing, copper/RER U	5,51	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
	Section bar extrusion, aluminium/RER U	1,4	kg	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Literature (de Wild 2006)
	Metal working factory/RER/I U	8,9722E-09	p	Lognormal	3,0611	(2,4,1,1,1,5); Calculation, based on annual production of electronic component production plant
	Corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant/RER U	2,5	kg	Lognormal	1,2423	(2,4,1,1,1,5); Calculation, based on estimated dimension of inverse rectifier
	Polystyrene foam slab, at plant/RER U	0,3	kg	Lognormal	1,3117	(2,3,4,1,1,5); Literature (Schwarz 1992)
	Fleece, polyethylene, at plant/RER U	0,06	kg	Lognormal	1,3117	(2,3,4,1,1,5); Literature (Schwarz 1992)
	Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	17,7835	tkm	Lognormal	2,095	Transport, lorry >16t, fleet average/RER U a été supprimé et affecté en fin de vie Transport, freight, rail/RER U a été remplacé par Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U. Les distances ont également été changé pour du (US-US) 500 km, ce qui donne 7,1134*500/200= 17.7835 tkm
	Transport, transoceanic freight ship/OCE U	14,10538889	tkm	Lognormal	2,095	pour les composantes electroniques, le mode de transport est resté le même en gardant la meme hypothese que les composantes électroniques viennent de l'outre-mer. Par contre la distances a été baissé à 7000 km (pour rester coherent avec la distance prise tout au long de la modelisation. 18000 km est également un peu élevé)
Emissions to air (high. Pop)						
	Heat, waste	76,32	MJ	Lognormal	1,2226	(2,3,1,1,1,5); Calculation

P30 - Production des composantes de raccordement	**1 p**	**Amount**			**Adapté de electric installation, photovoltaic plant, at plant/p/CH/I (for a 3 kWp plant, adapté en fonction de la puissance. Hypothse de linearite en fonction de la puissance voir p 120 sur 181, rapport ecoinvent) Les composantes de racoordement sont les cables, l'interrupteur, etc. (voir p 123 sur 181)**
Copper, at regional storage/RER U	14,7	kg	Lognormal	1	
Brass, at plant/CH U	0,02	kg	Lognormal	1	
Zinc, primary, at regional storage/RER U	0,04	kg	Lognormal	1	
Steel, low-alloyed, at plant/RER U	0,86	kg	Lognormal	1	
Nylon 6, at plant/RER U	0,23	kg	Lognormal	1	
Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	17,61	kg	Lognormal	1	
Polyvinylchloride, bulk polymerised, at plant/RER U	2,13	kg	Lognormal	1	
Polycarbonate, at plant/RER U	0,2	kg	Lognormal	1	
Epoxy resin, liquid, at plant/RER U	0,002	kg	Lognormal	1	
Wire drawing, copper/RER U	14,7	kg	Lognormal	1	
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	17,896	tkm	Lognormal	1	Remplace Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U et Transport, freight, rail/CH U Les distances ont également été changé pour du (US-US) 500 km. ce qui donne 35,729kg *500/1000= 17,896 tkm (=35,8 kg voir Tab. 10.23 Unit process raw data of the electric installation for a 3 kWp plant)
P40 - Production de la monture d'installation du panneau	**1 m2**	**Area**			**Adapté de slanted-roof construction, mounted, on roof/m2/CH/I LA monture represente le systeme sur lequel sera installe les panneaux PV "This is a common and simple type of mounting system. It has to be noted that the transport of the mounting structure is already included in the unit process raw data investigated for this part, while all other transports and the energy use for the construction process is included in the unit process raw data investigated in this chapter." (p 125 sur 181) Wafers, cells and modules are modelled per m2 in order to facilitate the use of the datasets**
Aluminium, production mix, wrought alloy, at plant/RER U	2,5586	kg	Lognormal	2,0483	(1,2,1,1,1,na); Literature and own estimations
Corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant/RER U	0,1203	kg	Lognormal	2,1801	(3,4,3,1,3,5); Schwarz et al. 1992
Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	0,0012663	kg	Lognormal	2,0483	(1,2,1,1,1,na); Literature and own estimations, recycled PE
Polystyrene, high impact, HIPS, at plant/RER U	0,0063316	kg	Lognormal	2,1801	(3,4,3,1,3,5); Schwarz et al. 1992
Steel, low-alloyed, at plant/RER U	1,3534	kg	Lognormal	2,0483	(1,2,1,1,1,na); Literature and own estimations
Section bar extrusion, aluminium/RER U	2,7353	kg	Lognormal	2,1801	(3,4,3,1,3,5); Estimation
Sheet rolling, steel/RER U	1,3534	kg	Lognormal	2,1801	(3,4,3,1,3,5); Estimation
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	2	tkm	Lognormal	2,1419	Remplace Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U et Transport, freight, rail/CH U Les distances ont également été changé pour du (US-US) 500 km, ce qui donne 4kg *500/1000= 2 tkm (=4 kg voir Tab. 10.13 Unit process raw data of different mounting systems, ...) Transport, van<3.5 t CH U a ete supprime
I12 - Installation du panneau photovolatique multi-Si	**1 m2**	**Area**			**Represente linstallation du produit final au Qc. Les composantes sont transportées du manufacturier vers le client**
Electricity, low voltage, at grid - Qc U	0,010101454	kWh	Lognormal	1,285	Electricite adapte au Quebec considerant import (3,4,3,1,1,5); Energy use for erection of 3kWp plant =0.23(kwh/p)/22.769(m2/p)=0,010101454
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	23,62095	tkm	Lognormal	2,0865	Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U a été ajouté. Les distances (US-Qc) 1500 km représente la distance entre le manufacturier et l'utilisateur (client). =(9.4484/600)*1500=23.62095
Emissions to air (high. Pop)					
Heat, waste	0,036365233	MJ	Lognormal	1,285	(3,4,3,1,1,5); calculated with electricity use =0.828(MJ/p)//22.769(m2/p)=0,036365233
I20 - Installation de l'onduleur 2500W	**1 p**	**Amount**			
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	53,3505	tkm	Lognormal	2,095	Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U correspond a la livraison du fabricant vers le client pour linstallation . La distances (US-QC) est egal a 1500 km, ce qui donne 7,1134*1500/200= 53.3505 tkm
I30 - Installation des composantes de raccordement	**1 p**	**Amount**			
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	53,529	tkm	Lognormal	1	Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U a été ajouté. La distance (US-Qc) 1500 km représente la distance entre le manufacturier et l'utilisateur (client). ce qui donne 35,729kg *1500/1000= 53,529 tkm
I40 - Installation de la monture d'installation du panneau	**1 m2**	**Area**			

	Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	6 tkm	Lognormal	2,1419	Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U a été ajouté. Les distances (US-Qc) 1500 km représente la distance entre le manufacturier et l'utilisateur (client). ce qui donne 4kg *1500/1000= 6 tkm (=4 kg voir Tab. 10.13 Unit process raw data of different mounting systems, ...)
E12 - Exploitation du panneau photovolatique multi-Si		**1 m2**	**Area**		**Adapté de electricity, PV, at 3kWp slanted-roof, multi-Si, panel, mounted/kWh/CH (ramené à un m²). les donnes ci bas font reference au panneau final avec son cadre et tout (et non pas a un 1 P12 par exemple) Estimation 20l d'eau/m2 panel selon ecoinvent The emissions due to maintenance operations are already considered in the inventories of the single components**
	Energy, solar, converted	14032,25686 MJ	Lognormal	1,0907	=3.8503*82980.6655(MJ/p)/22.769(m2/p)=)14032,25686(MJ/m2) (2,2,1,1,1,3); Energy loss in the system is included
	Tap water, at user/CH U	20 kg	Lognormal	1,0907	22,769 m2/p
Emissions to air (high. Pop)					
	Heat, waste	953,9974806 MJ	Lognormal	1,05	Sur toute la duree de vie du panneau =0,25027*82980,6655 kwh /21.769(m2/p)=953,9974806 (MJ/m2)
Waste and emission to treatment					
	Treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2/CH U	0,02 m³	Lognormal	1,0907	(2,2,1,1,1,3); Estimation 20l/m2 panel
F12 - Fin de vie du panneau photovolatique multi-Si		**1 m2**	**Area**		**La fin de vie est considérée au QC For the dismantling of photovoltaic power plants standard scenarios from the ecoinvent project have been taken into account. Larger metal parts of the system and silicon are recycled. The remaining parts are incinerated or landfilled. voir 05_EnergySystemsSummary.pdf. Neither environmental burdens nor credits have been considered for the recycling. pv.pdf p 129 sur 181.**
	Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	1,210485345 tkm	Undefined	0	le transport des déchets vers le site d'enfouissement a été ajouté (une distance QC-QC: 50 km) 0,03+0,1104+1.6861+0,0016069+21,286+1.0956
	Electricity, low voltage, at grid - Qc U	0,010101454 kWh	Lognormal	1,285	La quantité d'énergie pour démanteler le système a été ajouté basé sur celle nécessaire pour l'installation. Electricite adapte au quebec considerant import (3,4,3,1,1,5); Energy use for erection of 3kWp plant =0.23(kwh/p)/22.769(m2/p)=0,010101454
Waste and emission to treatment					
	Disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary landfill/CH U	0,03 kg	Lognormal	1,1267	Enfouissement plutôt qu'incinération (1,4,1,3,1,3); Calculation, including disposal of the panel after life time.
	Disposal, polyvinylchloride, 0.2% water, to sanitary landfill/CH U	0,1104 kg	Lognormal	1,1267	Remplace Disposal, polyvinylfluoride, 0.2% water, to municipal incineration/CH U (pas de processus d'enfouissement disponible)
	Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill/CH U	1,6861 kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); Calculation, including disposal of the panel after life time. Enfouissement plutôt qu'incinération
	Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH U	0,0016069 kg	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); Calculation, oil used during production. Incinération conservée, car déchet dangereux.
	Treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2/CH U	0,021286 m3	Lognormal	1,1267	(1,4,1,3,1,3); Calculation, water use
	Disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to sanitary landfill/CH U	1,0956 kg	Lognormal	1,1267	Pour etre coherent avec les autres etape du cycle de vie, a été ajouté pour la quantité de carton utilisé lors de la phase de production. La même incertitude a été affectée.
F20 - Fin de vie de l'onduleur 2500W		**1 p**	**Amount**		**Fin de vie au Qc. L'incinération a été remplacée par l'enfouissement. The lifetime of the inverter is assumed with 15 years. Thus, it must be exchanged once during the lifetime of the plant. The inverter investigated for this study has a capacity of 2.5 kW. Thus, a factor of 1.25 has been used for the 3kWp plant p131 sur 181 Pv.pdf (rap. ecoinvent). For the dismantling of photovoltaic power plants standard scenarios from the ecoinvent project havebeen taken into account. Larger metal parts of the system and silicon are recycled. The remaining parts are incinerated or landfilled. voir 05_EnergySystemsSummary.pdf Neither environmental burdens nor credits have been considered for the recycling. pv.pdf p 129 sur 181**
	Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	1,916333333 tkm	Lognormal	2,095	La fin de vie est considérée au QC le transport des déchets vers le site d'enfouissement a été modifié pour une distance QC-QC: 50 km. =2,2996 *50/60
Waste and emission to treatment					
	Disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to sanitary landfill/CH U	2,5 kg	Lognormal	1,2491	(2,3,1,5,1,5); Calculation, different geographical location
	Disposal, polystyrene, 0.2% water, to sanitary landfill/CH U	0,31 kg	Lognormal	1,2491	(2,3,1,5,1,5); Calculation, different geographical location
	Disposal, polyethylene, 0.4% water, to sanitary landfill/CH U	0,06 kg	Lognormal	1,2491	(2,3,1,5,1,5); Calculation, different geographical location
	Disposal, treatment of printed wiring boards/GLO U	1,7028 kg	Lognormal	1,2491	(2,3,1,5,1,5); Calculation, different geographical location

F30 - Fin de vie des composantes de raccordement	**1**	**p**	**Amount**		**La fin de vie est considérée au QC. For the dismantling of photovoltaic power plants standard scenarios from the ecoinvent project have been taken into account. Larger metal parts of the system and silicon are recycled. The remaining parts are incinerated or landfilled. voir 05_EnergySystemsSummary.pdf Neither environmental burdens nor credits have been considered for the recycling. pv.pdf p 129 sur 181**
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	1,00886	tkm	Undefined	0	le transport des déchets vers le site d'enfouissement a été modifié pour une distance QC-QC: 50km =(20,1172+0,06) *50'/1000
Waste and emission to treatment					
Disposal, plastic, industr. electronics, 15.3% water, to municipal incineration/CH U	20,172	kg	Lognormal	1	L'incinération a été conservée car pas d'autre processus disponible.
Disposal, building, electric wiring, to final disposal/CH U	0,06	kg	Lognormal	1	L'incinération a été conservée car pas d'autre processus disponible.

F40 - Fin de vie de la monture d'installation du panneau	**1**	**m2**	**Area**		**La fin de vie est considérée au QC. L'incinération a été remplacée par l'enfouissement. For the dismantling of photovoltaic power plants standard scenarios from the ecoinvent project havebeen taken into account. Larger metal parts of the system and silicon are recycled. The remaining parts are incinerated or landfilled. voir 05_EnergySystemsSummary.pdf Neither environmental burdens nor credits have been considered for the recycling. pv.pdf p 129 sur 181**
Transport, lorry 3.5-20t, fleet average/CH U	0,006394895	tkm	Undefined	0	le transport des déchets vers le site d'enfouissement a été ajouté pour une distance QC-QC: 50km =(0.1203+0.0012663+0.0063316) *50
Waste and emission to treatment					
Disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to sanitary landfill/CH U	0,1203	kg	Lognormal	2,1801	(3,4,3,1,3,5); Calculated with use
Disposal, polyethylene, 0.4% water, to sanitary landfill/CH U	0,0012663	kg	Lognormal	2,1801	(3,4,3,1,3,5); Disposal of plastics parts at end of life
Disposal, polystyrene, 0.2% water, to sanitary landfill/CH U	0,0063316	kg	Lognormal	2,1801	(3,4,3,1,3,5); Disposal of plastics parts at end of life

Annexe D :
Évaluation de la qualité des données d’inventaire

D.1 Critères d'évaluation de la qualité des données

Le Tableau D-1 présente les critères de qualification des données utilisés. Ces critères concernent la fiabilité et la représentativité des données. Il est à noter que cette étude est simplifiée dans l'objectif de ne pas alourdir le processus d'évaluation des impacts du cycle de vie, mais représente une excellente vue d'ensemble du type de données d'inventaire collectées.

Tableau D-1 : Critères de qualification des données (quantités et processus)

Pointages	Critères de qualification de la fiabilité des données (quantités)
1	Données vérifiées mesurées ou calculées sur le terrain - *Cette donnée remplit le critère « fiabilité/précision » requis pour le cas à l'étude*
2	Données vérifiées, en partie issues d'hypothèses ou Données non vérifiées issues de mesures (documents fournis par le mandataire ou littérature) – *cette donnée est jugée suffisamment précise/fiable par l'équipe d'analystes pour le cas à l'étude*
3	Données non vérifiées, en partie issues d'hypothèses ou Estimation de qualité (effectuée par un expert) – *cette donnée est jugée utilisable par l'équipe d'analystes, mais sa fiabilité/précision pourrait être améliorée*
4	Données estimées de façon grossière - *Cette donnée ne remplit pas le critère « fiabilité/précision » requis pour le cas à l'étude*
Pointages	**Critères de qualification de la représentativité des données (processus)**
1	Données de terrain (du cadre à l'étude), de laboratoire - *Cette donnée remplit le critère « représentativité » requis pour le cas à l'étude*
2	Bonne représentativité géographique et/ou technologique du processus sélectionné – *cette donnée est jugée suffisamment représentative par l'équipe d'analystes pour le cas à l'étude*
3	Données relatives au même procédé ou matériau, mais se référant à une technologie différente (ex. : processus représentatif disponible dans la banque *ecoinvent*) – *Cette donnée est jugée utilisable par l'équipe d'analystes, mais sa représentativité pourrait être améliorée*
4	Représentativité géographique et/ou technologique inadéquate. La donnée recherchée n'est pas facilement accessible, utilisation d'un autre processus comme approximation - *Cette donnée ne remplit pas le critère « représentativité » requis pour le cas à l'étude*

D.2 Résultats – analyse de qualité des données

Le Tableau D-3 présente un résumé de l'évaluation de la qualité des données pour tous les systèmes de production décentralisée d'énergie électrique à petite échelle, dans des conditions moyennes au Québec.

La qualité des données « fiabilité » fait référence à la quantification des flux (matière et énergie, distances de transport, quantités de rejets). La qualité des données « représentativité » fait plutôt référence à la validité géographique et technologique et la complétude des modules de données (processus) génériques sélectionnés. Enfin, la contribution potentielle à l'impact réfère à l'influence du processus ou du paramètre évalué sur les résultats (établit sur sa contribution moyenne aux différentes catégories de dommage à l'étude). Pour simplifier la lecture, un code de couleur a été ajouté et est présenté au Tableau D-2.

Tableau D-2 : Critères de contribution et de qualité des données

Contribution		Qualité	
0-5%	Contribution potentiellement faible ou négligeable	1	Remplit le critère pour le cas à l'étude
6-10%	Contribution potentiellement influente	2	Jugée suffisamment représentative
11-50%	Forte contribution potentielle	3	Jugée utilisable, mais pouvant être améliorée
51-100%	Très forte contribution potentielle	4	Ne remplit pas le critère pour le cas à l'étude

Rappelons que de manière générale, une note de « 1 » correspond à la meilleure évaluation possible, alors qu'une note de « 4 » correspond à une donnée qui devrait être améliorée afin de remplir les différents critères de qualité. Ainsi, les processus pour lesquels la qualité des données est considérée comme étant limitée ou insuffisante sont surlignées en rouge (note « 4 ») et les processus pouvant être améliorés sont en orangé (note « 3 »).

En ce qui a trait à la contribution, une plage de valeurs est présentée. Elle indique la contribution minimale et maximale du processus évalué en fonction des quatre catégories de dommages et des deux catégories d'impacts évaluées. La contribution globale du processus évalué (couleur de la case) a été établie en fonction de sa contribution maximale, tout indicateur confondu.

Fiabilité

Sur le plan de la fiabilité, la majorité des processus évalués ont été jugés suffisamment précis (notés « 2 »), car les quantités ont été adaptées au contexte québécois. Dans certains cas, les quantités employées proviennent directement des données génériques suisses (sauf pour les distances de transport qui ont toujours été adaptées), ce qui a mené à une évaluation un peu moins fiable (note de « 3 »), mais toujours utilisable dans le cas à l'étude. Enfin, l'hypothèse de linéarité en fonction de la puissance a justifié le fait que les données pourraient être améliorées en ce qui a trait à la production des parties mobiles d'éoliennes de 10 et 1 kW – dont la production a été modélisée à partir de données pour une éolienne de 30 kW.

Représentativité

Le choix des processus pour modéliser les systèmes éoliens ont généralement été jugés applicables au Québec (notés « 2 »), puisque adaptés à partir d'informations provenant des fournisseurs locaux. La gestion de fin de vie a été jugée représentative (noté « 3 », car une adaptation a été effectuée pour remplacer l'incinération par l'enfouissement), mais pouvant être améliorée, puisqu'elle repose sur des processus d'enfouissement génériques européens qui ne sont pas entièrement adaptés au contexte technologique québécois.

En ce qui a trait aux systèmes photovoltaïques, seule l'étape d'installation (ne prenant en compte que du transport) a été entièrement adaptée au Québec (noté « 2 »). Pour les autres étapes – production et exploitation – les processus génériques suisses ont été employés et posés représentatifs aux panneaux photovoltaïques vendus au Québec, mais ces données pourraient certainement être améliorées (d'où la note de « 3 »). Le commentaire sur la représentativité des processus de fin de vie des systèmes éoliens s'applique également pour les systèmes solaires.

À noter qu'aucune des données n'a été jugée de la meilleure qualité possible (note de « 1 »), car il n'y a pas eu de collecte de données primaires au cours de cette étude.

Tableau D-3 : Contribution des processus et qualité des données pour les systèmes évalués dans des conditions moyennes au Québec

Étape du cycle de vie / Processus	Contribution à l'impact global du système	Qualité	
		Fiabilité (Quantité)	Représenta-tivité (processus)
Turbine éolienne 30 kW	100%		
Production	41-73%	2	2
Installation	25-53%	2	2
Exploitation (1 seul processus)	0-3%	3	3
Gestion en fin de vie	1-3%	2	3
Production	100%		
Partie mobile 30 kWh	31-66%	2	2
Partie fixe 22m	34-69%	2	2
Installation	100%		
Partie mobile 30 kWh	7-9%	2	2
Partie fixe 22m	91-93%	2	2
Gestion en fin de vie	100%		
Partie mobile 30 kWh	3-9%	2	3
Partie fixe 22m	91-97%	2	3
Turbine éolienne 10 kW	100%		
Production	35-51%	3	2
Installation	46-60%	2	2
Exploitation (1 seul processus)	0-1%	3	3
Gestion en fin de vie	2-4%	2	3
Production	100%		
Partie mobile 10 kWh	23-46%	3	2
Partie fixe 30 m	54-77%	2	2
Installation	100%		
Partie mobile 10 kWh	2-3%	2	2
Partie fixe 30 m	97-98%	2	2
Gestion en fin de vie	100%		
Partie mobile 10 kWh	1-3%	2	3
Partie fixe 30 m	97-99%	2	3
Turbine éolienne 1 kW	100%		
Production	30-59%	3	2
Installation	37-53%	2	2
Exploitation (1 seul processus)	1-2%	3	3
Gestion en fin de vie	3-15%	2	3
Production	100%		
Partie mobile 1 kWh	24-40%	3	2
Partie fixe 10 m	60-76%	2	2
Installation	100%		
Partie mobile 1 kWh	2-4%	2	2
Partie fixe 10 m	96-98%	2	2
Gestion en fin de vie	100%		
Partie mobile 1 kWh	0-1%	2	3
Partie fixe 10 m	99-100%	2	3

Tableau D-3 (suite)

Étape du cycle de vie / Processus	Contribution à l'impact global du système	Qualité	
		Fiabilité (Quantité)	Représenta-tivité (processus)
Photovoltaïque monocristallin	100%		
Production	92-96%	3	3
Installation	3-6%	2	2
Exploitation (1 seul processus)	0-0,3%	3	3
Gestion en fin de vie	0-2%	3	3
Production	100%		
Panneau photovoltaïque	44-89%	3	3
Onduleur	6-27%	3	3
Composantes raccordement	1-19%	3	3
Monture d'installation du panneau	5-15%	3	3
Installation	100%		
Panneau photovoltaïque	63-63%	2	2
Onduleur	15-15%	2	2
Composantes raccordement	6-6%	2	2
Monture d'installation du panneau	15-15%	2	2
Gestion en fin de vie	100%		
Panneau photovoltaïque	11-84%	2	3
Onduleur	2-15%	2	3
Composantes raccordement	2-86%	2	3
Monture d'installation du panneau	0-4%	2	3
Photovoltaïque polycristallin	100%		
Production	91-95%	3	3
Installation	4-7%	2	2
Exploitation (1 seul processus)	0-0,4%	3	3
Gestion en fin de vie	0-2%	3	3
Production	100%		
Panneau photovoltaïque	43-87%	3	3
Onduleur	7-27%	3	3
Composantes raccordement	1-19%	3	3
Monture d'installation du panneau	6-17%	3	3
Installation	100%		
Panneau photovoltaïque	63-63%	2	2
Onduleur	15-15%	2	2
Composantes raccordement	6-6%	2	2
Monture d'installation du panneau	16-16%	2	2
Gestion en fin de vie	100%		
Panneau photovoltaïque	12-85%	2	3
Onduleur	2-15%	2	3
Composantes raccordement	2-86%	2	3
Monture d'installation du panneau	0-4%	2	3

Annexe E :
Résultats bruts

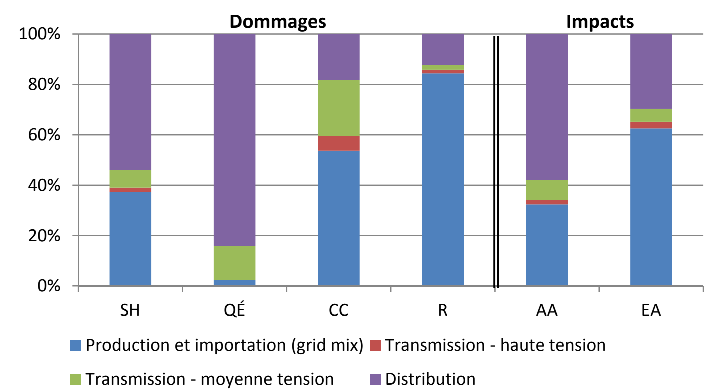
Profil - Système de référence (réseau HQ)

Résumé des résultats (/kWh): pertes 1,01 1,055

Damage category	Unit	Total	Production et importation (grid mix)	Transmission - haute tension	Transmission - moyenne tension	Distribution	Contribution
Human health	DALY	2,94E-08	1,09E-08	5,26E-10	2,07E-09	1,58E-08	1-Particules, SO2 et NOx issues de la production d'elec au charbon et de la production de Cu pour les câbles 2- Arsenic des poteaux
Ecosystem quality	PDF*m2*yr	8,72E-02	1,94E-03	1,78E-04	1,17E-02	7,34E-02	1- Cu, Cr du lessivage du traitement des poteaux 2- Al de la production de Cu pour la production des câbles de distribution 3- Cu, Cr emis par le réseau de transmission
Climate change	kg CO2 eq	2,34E-02	1,26E-02	1,37E-03	5,19E-03	4,28E-03	1- Production d'électricité à partir de charbon, gaz naturel, industrial gas… 2- SF6 dans la transmission et production des métaux des infrastructures dans la distribution
Resources	MJ primary	5,09E-01	4,29E-01	7,38E-03	9,29E-03	6,27E-02	1- Extraction d'uranium pour la production nucléaire 2- Extraction de charbon pour la prod electrique à partir de charbon
Aquatic acidification	kg SO2 eq	1,39E-04	4,49E-05	2,57E-06	1,10E-05	8,04E-05	1- SO2 de la combustion de charbon et la production de cuivre 2-Nox de la combustionde charbon pour la prod d'electricité
Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	4,16E-07	2,60E-07	1,13E-08	2,13E-08	1,23E-07	1- DCO de l'extraction de pétrole pour la production d'electricité

	Production et importation (grid mix)	Transmission - haute tension	Transmission - moyenne tension	Distribution	total
SH	***37%***	***2%***	***7%***	***54%***	100,00%
QÉ	***2%***	***0%***	***13%***	***84%***	100,00%
CC	***54%***	***6%***	***22%***	***18%***	100,00%
R	***84%***	***1%***	***2%***	***12%***	100,00%
AA	***32%***	***2%***	***8%***	***58%***	100,00%
EA	***63%***	***3%***	***5%***	***30%***	100,00%

MIN	2%	0%	2%	12%
MAX	84%	6%	22%	84%



Profil - Système de référence (réseau HQ), vérification avec la méthode ReCiPe

Vérification de la contribution de l'étape de distribution à l'indicateur Ecosystem

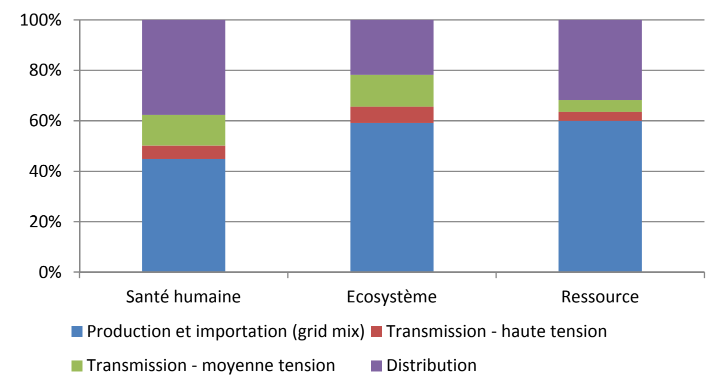
Résumé des résultats (/kWh): pertes 1,01 1,055

Damage category	Unit	Total	Production et importation (grid mix)	Transmission - haute tension	Transmission - moyenne tension	Distribution
Human health	DALY	6,42E-08	2,88E-08	3,49E-09	7,79E-09	2,42E-08
Ecosystem	species*yr	2,76E-10	1,63E-10	1,80E-11	3,47E-11	6,01E-11
Resources	$	7,05E-02	4,23E-02	2,50E-03	3,25E-03	2,24E-02

	Production et importation (grid mix)	Transmission - haute tension	Transmission - moyenne tension	Distribution	total
Santé humaine	***45%***	***5%***	***12%***	***38%***	100,00%
Ecosystème	***59%***	***7%***	***13%***	***22%***	100,00%
Ressource	***60%***	***4%***	***5%***	***32%***	100,00%

MIN	45%	4%	5%	22%
MAX	60%	7%	13%	38%

Dommages, Méthode ReCiPe



Selon la méthode ReCiPe, l'étape de distribution ne ressort pas dans l'indicateur "Ecosystèmes", comme c'est le cas avec la méthode IMPACT 2002+.

Bien que le réseau de distribution et de transmission moyenne tension soit un fort contributeur à la catégorie d'impact "Terrestrial ecotoxicity" à cause des métaux, l'agrégation en dommage ne fait pas particulièrement ressortir cette étape du cycle de vie.

Profil - Système éolien de petite puissance de 30 kW

Résumé des résultats (/kWh):

Damage category	Unit	Total	S12-P1 Condition moyenne Électricité, turbine éolienne 30kW	P21-Production de la partie mobile 30 kW	P12-Production de la partie fixe 22 m	I21-Installation de la partie mobile 30 kW	I12-Installation de la partie fixe 22 m	E21-Exploitation de la partie mobile 30 kW	F21-Fin de vie de la partie mobile 30 kW	F12-Fin de vie de la partie fixe 22 m
Human health	DALY	6,20E-08	0,00E+00	3,02E-08	1,54E-08	1,12E-09	1,43E-08	1,16E-10	2,98E-11	9,36E-10
Ecosystem quality	PDF*m2*yr	2,04E-02	0,00E+00	8,35E-03	5,98E-03	3,87E-04	5,43E-03	4,03E-05	1,34E-05	1,68E-04
Climate change	kg CO2 eq	3,83E-02	0,00E+00	8,75E-03	1,49E-02	1,19E-03	1,25E-02	2,72E-04	6,68E-05	6,41E-04
Resources	MJ primary	6,15E-01	0,00E+00	1,67E-01	2,06E-01	1,97E-02	2,03E-01	7,05E-03	6,77E-04	1,23E-02
Aquatic acidification	kg SO2 eq	2,41E-04	0,00E+00	6,85E-05	6,94E-05	7,42E-06	8,96E-05	8,80E-07	2,41E-07	5,22E-06
Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	1,48E-06	0,00E+00	1,87E-07	4,17E-07	5,14E-08	7,32E-07	4,22E-08	2,88E-09	4,74E-08

	partie mobile	partie fixe				
	Production		Distribution	Utilisation	Fin de vie	total
SH	***49%***	***25%***	25%	0,2%	2%	100,00%
QÉ	***41%***	***29%***	29%	0,2%	1%	100,00%
CC	***23%***	***39%***	36%	0,7%	2%	100,00%
R	***27%***	***33%***	36%	1,1%	2%	100,00%
AA	***28%***	***29%***	40%	0,4%	2%	100,00%
EA	***13%***	***28%***	***53%***	2,9%	3%	100,00%

Production	production
4,56E-08	73%
1,43E-02	70%
2,36E-02	62%
3,72E-01	61%
1,38E-04	57%
6,04E-07	41%

MIN	13%	25%	0%	1%
MAX	49%	53%	3%	3%

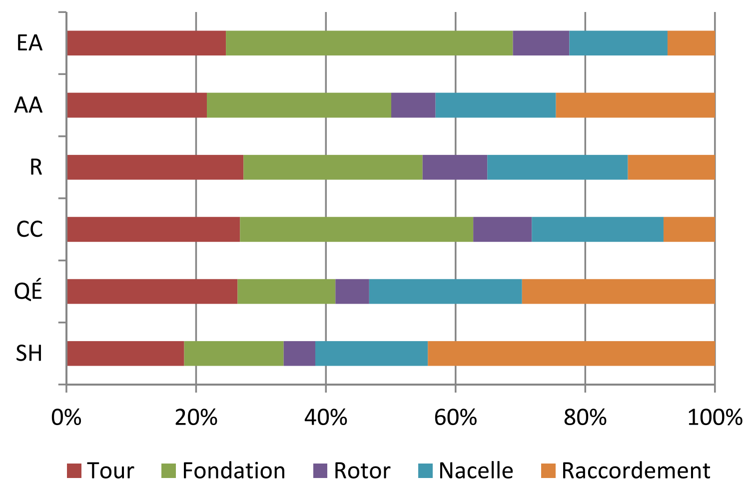
Système éolien de petite puissance de 30 kW - Détail de la production

			4,75647E-07	4,7565E-07	9,51294E-07	9,5129E-07	9,5129E-07 /kWh

Résumé des résultats (/kWh):

Damage category	Unit	Total	Tour	Fondation	Rotor	Nacelle	Raccordement
Human health	DALY	4,55E-08	8,25E-09	6,97E-09	2,22E-09	7,89E-09	2,01E-08
Ecosystem qu	PDF*m2*yr	1,43E-02	3,77E-03	2,16E-03	7,42E-04	3,37E-03	4,25E-03
Climate chang	kg CO2 eq	2,35E-02	6,29E-03	8,46E-03	2,12E-03	4,78E-03	1,86E-03
Resources	MJ primary	3,71E-01	1,01E-01	1,02E-01	3,70E-02	8,04E-02	4,98E-02
Aquatic acidif	kg SO2 eq	1,37E-04	2,97E-05	3,90E-05	9,37E-06	2,55E-05	3,37E-05
Aquatic eutro	kg PO4 P-lim	6,00E-07	1,48E-07	2,66E-07	5,22E-08	9,09E-08	4,40E-08

Damage category	Total	Tour	Fondation	Rotor	Nacelle	Raccordement
SH	100%	18%	15%	5%	17%	44%
QÉ	100%	26%	15%	5%	24%	30%
CC	100%	27%	36%	9%	20%	8%
R	100%	27%	28%	10%	22%	13%
AA	100%	22%	28%	7%	19%	25%
EA	100%	25%	44%	9%	15%	7%



Profil - Système éolien de petite puissance de 10 kW

Résumé des résultats (/kWh):

Damage category	Unit	Total	S34-P1 Condition moyenne Électricité, turbine éolienne 10kW	P22-Production de la partie mobile 10 kW	P11-Production de la partie fixe 30 m	I22-Installation de la partie mobile 10 kW	I11-Installation de la partie fixe 30 m	E22-Exploitation de la partie mobile 10 kW	F22-Fin de vie de la partie mobile 10 kW	F11-Fin de vie de la partie fixe 30 m
Human health	DALY	9,45E-08	0,00E+00	1,63E-08	3,02E-08	1,19E-09	4,36E-08	9,11E-11	3,59E-11	3,09E-09
Ecosystem quality	PDF*m2*yr	3,76E-02	0,00E+00	8,75E-03	1,03E-02	4,17E-04	1,73E-02	2,98E-05	1,58E-05	7,46E-04
Climate change	kg CO2 eq	8,55E-02	0,00E+00	1,00E-02	3,35E-02	1,24E-03	3,82E-02	1,85E-04	5,85E-05	2,26E-03
Resources	MJ primary	1,29E+00	0,00E+00	1,78E-01	4,26E-01	2,06E-02	6,20E-01	4,06E-03	7,53E-04	4,29E-02
Aquatic acidification	kg SO2 eq	0,000532	0	7,7E-05	0,000155	7,87E-06	0,000274	6,37E-07	2,69E-07	1,77E-05
Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	3,81E-06	0	3,25E-07	1,01E-06	5,54E-08	2,24E-06	2,13E-08	4,87E-09	1,57E-07

	partie mobile	partie fixe				
	Production		Distributio	Utilisation	Fin de vie	Total
SH	***17%***	***32%***	47%	0,1%	3%	100,00%
QÉ	***23%***	***28%***	47%	0,1%	2%	100,00%
CC	***12%***	***39%***	46%	0,2%	3%	100,00%
R	***14%***	***33%***	**50%**	0,3%	3%	100,00%
AA	***14%***	***29%***	***53%***	0,1%	3%	100,00%
EA	***9%***	***26%***	***60%***	0,6%	4%	100,00%

Production	production
4,65E-08	49%
1,91E-02	51%
4,35E-02	51%
6,04E-01	47%
2,32E-04	44%
1,33E-06	35%

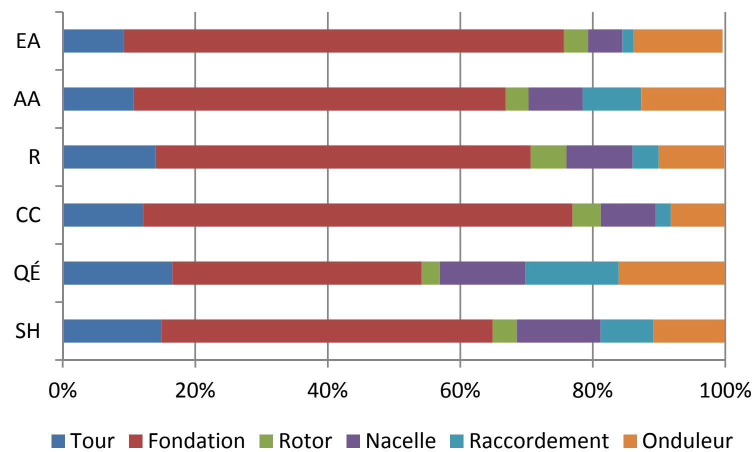
MIN	9%	46%	0%	2%
MAX	23%	60%	1%	4%

Système éolien de petite puissance de 10 kW - Détail de la production

			1,09818E-06	1,0982E-06	2,19635E-06	2,1964E-06	2,1964E-06	2,1964E-06	2,1964E-06 /kWh (qte appelee a l'étape de production)
Résumé des résultats (/kWh):			1	1	1	1	3,33333333	8	1

Damage category	Unit	Total Étape de production	Tour	Fondation	Rotor	Nacelle	Raccordement	Onduleur	Emaballage
Human health	DALY	4,64E-08	6,89E-09	2,32E-08	1,71E-09	5,84E-09	3,71E-09	5,00E-09	4,03E-11
Ecosystem qu	PDF*m2*yr	1,91E-02	3,15E-03	7,18E-03	5,26E-04	2,46E-03	2,69E-03	3,04E-03	2,50E-05
Climate chang	kg CO2 eq	4,35E-02	5,26E-03	2,82E-02	1,86E-03	3,60E-03	9,77E-04	3,54E-03	5,04E-05
Resources	MJ primary	6,03E-01	8,46E-02	3,41E-01	3,26E-02	6,01E-02	2,40E-02	5,97E-02	8,34E-04
Aquatic acidif	kg SO2 eq	2,32E-04	2,49E-05	1,30E-04	8,00E-06	1,89E-05	2,05E-05	2,91E-05	2,55E-07
Aquatic eutro	kg PO4 P-lim	1,33E-06	1,23E-07	8,85E-07	4,86E-08	6,88E-08	2,31E-08	1,79E-07	5,08E-09

Damage category	Total	Tour	Fondation	Rotor	Nacelle	Raccordement	Onduleur	Emaballage
SH	100%	15%	50%	4%	13%	8%	11%	0%
QÉ	100%	17%	38%	3%	13%	14%	16%	0%
CC	100%	12%	65%	4%	8%	2%	8%	0%
R	100%	14%	57%	5%	10%	4%	10%	0%
AA	100%	11%	56%	3%	8%	9%	13%	0%
EA	100%	9%	66%	4%	5%	2%	13%	0%



Profil - Système éolien de petite puissance de 1 kW

Résumé des résultats:

Damage category	Unit	Total	S56-P1 Condition moyenne Électricité, turbine éolienne 1kW	P23-Production de la partie mobile 1 kW	P13-Production de la partie fixe 10 m	I23-Installation de la partie mobile 1 kW	I13-Installation de la partie fixe 10 m	E23-Exploitation de la partie mobile 1 kW	F23-Fin de vie de la partie mobile 1 kW	F13-Fin de vie de la partie fixe 10 m
Human health	DALY	8,74E-08	0,00E+00	1,30E-08	2,71E-08	9,35E-10	3,49E-08	5,53E-10	3,05E-11	1,08E-08
Ecosystem quality	PDF*m2*yr	3,00E-02	0,00E+00	7,08E-03	1,06E-02	3,30E-04	1,08E-02	1,69E-04	1,33E-05	9,96E-04
Climate change	kg CO2 eq	6,95E-02	0,00E+00	8,16E-03	2,63E-02	9,61E-04	2,73E-02	9,57E-04	4,66E-05	5,81E-03
Resources	MJ primary	1,07E+00	0,00E+00	1,43E-01	3,63E-01	1,59E-02	4,38E-01	1,58E-02	6,26E-04	9,30E-02
Aquatic acidification	kg SO2 eq	0,000459	0	6,29E-05	0,000123	6,14E-06	0,000208	3,54E-06	2,26E-07	5,53E-05
Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	3,4E-06	0	2,83E-07	7,37E-07	4,38E-08	1,76E-06	5,9E-08	4,41E-09	5,15E-07

	partie mobile	partie fixe				
	Production		Distributio	Utilisation	Fin de vie	total
SH	***15%***	***31%***	41%	0,6%	12%	100,00%
QÉ	***24%***	***35%***	37%	0,6%	3%	100,00%
CC	***12%***	***38%***	41%	1,4%	8%	100,00%
R	***13%***	***34%***	42%	1,5%	9%	100,00%
AA	***14%***	***27%***	47%	0,8%	12%	100,00%
EA	***8%***	***22%***	53%	1,7%	15%	100,00%

Note: voir analyse plus bas pour expliquer la contribution de la fin de vie

production
46%
59%
50%
47%
40%
30%

MIN	8%	37%	1%	3%
MAX	24%	53%	2%	15%

Système éolien de petite puissance de 1 kW - Détail de la production

			1,0982E-06	1,0982E-06	2,1964E-06	2,1964E-06	2,1964E-06	2,1964E-06	2,1964E-06	/kWh (qté appelée à l'étape de production)
Résumé des résultats (/kWh):			1	1	1	1	0,33333333	0,8	1

Damage category	Unit	Total Étape de production	Tour	Fondation	Rotor	Nacelle	Raccordement	Onduleur	Emaballage
Human health	DALY	4,01E-09	1,47E-09	1,24E-09	1,22E-10	4,17E-10	2,60E-10	5,00E-10	1,61E-12
Ecosystem qu	PDF*m2*yr	1,76E-03	6,71E-04	3,84E-04	3,76E-05	1,75E-04	1,88E-04	3,04E-04	1,42E-06
Climate chang	kg CO2 eq	3,44E-03	1,12E-03	1,50E-03	1,33E-04	2,57E-04	6,90E-05	3,54E-04	2,37E-06
Resources	MJ primary	5,05E-02	1,80E-02	1,82E-02	2,33E-03	4,29E-03	1,67E-03	5,97E-03	3,97E-05
Aquatic acidif	kg SO2 eq	1,85E-05	5,29E-06	6,94E-06	5,70E-07	1,35E-06	1,44E-06	2,91E-06	9,98E-09
Aquatic eutro	kg PO4 P-lim	1,02E-07	2,63E-08	4,73E-08	3,46E-09	4,91E-09	1,65E-09	1,79E-08	3,82E-10

Damage category	Total	Tour	Fondation	Rotor	Nacelle	Raccordement	Onduleur	Emballage
SH	100%	37%	31%	3%	10%	6%	12%	0%
QÉ	100%	38%	22%	2%	10%	11%	17%	0%
CC	100%	33%	44%	4%	7%	2%	10%	0%
R	100%	36%	36%	5%	8%	3%	12%	0%
AA	100%	29%	37%	3%	7%	8%	16%	0%
EA	100%	26%	46%	3%	5%	2%	18%	0%

Profil - Système solaire photovoltaïque monocristallin

Résumé des résultats:

Damage category	Unit	Total	S11-P1- Condition moyenne Électricité, système photovolatique single-Si	P11 - Production du panneau photovolatique single-Si	P20 - Production de l'ondulleur 2500W	P30 - Production des composantes de raccordement	P40 - Production de la monture d'installation du panneau	I11 - Installation du panneau photovolatique single-Si	I20 - Installation de l'ondulleur 2500W	I30 - Installation des composantes de raccordement	I40 - Installation de la monture d'installation du panneau	E11 - Exploitation du panneau photovolatique single-Si	F11 - Fin de vie du panneau photovolatique single-Si	F20 - Fin de vie de l'ondulleur 2500W	F30 - Fin de vie des composantes de raccordement	F40 - Fin de vie de la monture d'installation du panneau
Human health	DALY	4,54E-08	0,00E+00	2,33E-08	6,57E-09	5,77E-09	6,19E-09	1,64E-09	4,02E-10	1,69E-10	4,05E-10	4,92E-12	1,04E-10	1,99E-11	7,98E-10	1,33E-12
Ecosystem qu	PDF*m2*yr	1,62E-02	0,00E+00	6,69E-03	4,00E-03	2,81E-03	1,53E-03	6,33E-04	1,55E-04	6,50E-05	1,56E-04	2,34E-05	6,12E-05	6,95E-06	3,80E-05	3,27E-07
Climate chang	kg CO2 eq	5,64E-02	0,00E+00	4,01E-02	4,66E-03	1,08E-03	7,52E-03	1,45E-03	3,56E-04	1,49E-04	3,59E-04	3,83E-06	1,01E-04	1,82E-05	5,83E-04	1,04E-06
Resources	MJ primary	9,85E-01	0,00E+00	7,37E-01	7,85E-02	2,73E-02	1,03E-01	2,36E-02	5,78E-03	2,43E-03	5,83E-03	5,32E-05	1,49E-03	2,99E-04	1,56E-04	1,87E-05
Aquatic acidif	kg SO2 eq	2,82E-04	0,00E+00	1,72E-04	3,8285E-05	2,1696E-05	3,2443E-05	1,0364E-05	2,5385E-06	1,0651E-06	2,5583E-06	2,3476E-08	7,8562E-07	1,4406E-07	1,5133E-07	1,5643E-08
Aquatic eutro	kg PO4 P-lim	4,35E-06	0,00E+00	3,71E-06	2,3519E-07	2,5263E-08	1,9363E-07	8,4395E-08	2,0672E-08	8,6736E-09	2,0833E-08	1,4052E-08	3,469E-08	4,2652E-09	7,9134E-10	1,4652E-09

	Production	Distribution	Utilisation	Fin de vie	Total
SH	**92%**	6%	0%	2%	100,00%
QÉ	**93%**	6%	0%	1%	100,00%
CC	**95%**	4%	0%	1%	100,00%
R	**96%**	4%	0%	0%	100,00%
AA	**94%**	6%	0%	0%	100,00%
EA	**96%**	3%	0%	1%	100,00%

MIN	92%	3%	0%	0%
MAX	96%	6%	0%	2%

Détail de l'étape de production - Système solaire photovoltaïque monocristallin

Dans la modélisation de base, les cellules photovoltaïques sont considérées produites en Europe.

			2,13E-04	2,31E-05	9,66E-06	2,07E-04	/kWh

Résumé des résultats (/kWh):

Damage category	Unit	Total Étape de production	Panneau	Onduleur	Raccordement	Monture
Human health	DALY	6,46E-12	4,97E-12	1,52E-13	5,57E-14	1,28E-12
Ecosystem qu	PDF*m2*yr	1,86E-06	1,42E-06	9,25E-08	2,72E-08	3,18E-07
Climate chang	kg CO2 eq	1,02E-05	8,55E-06	1,08E-07	1,04E-08	1,56E-06
Resources	MJ primary	1,80E-04	1,57E-04	1,81E-06	2,64E-07	2,13E-05
Aquatic acidif	kg SO2 eq	4,44E-08	3,66E-08	8,84E-10	2,10E-10	6,72E-09
Aquatic eutro	kg PO4 P-lim	8,35E-10	7,90E-10	5,43E-12	2,44E-13	4,01E-11

Damage category	Total	Panneau	Onduleur	Raccordement	Monture
SH	100%	77%	2%	1%	20%
QÉ	100%	77%	5%	1%	17%
CC	100%	84%	1%	0%	15%
R	100%	87%	1%	0%	12%
AA	100%	82%	2%	0%	15%
EA	100%	95%	1%	0%	5%

Profil - Système solaire photovoltaïque polycristallin

Résumé des résultats:

Damage category	Unit	Total	S12-P1- Condition moyenne Électricité, système photovolatique multi-Si	P12 - Production du panneau photovolatique multi-Si	P20 - Production de l'ondulleur 2500W	P30 - Production des composantes de raccordement	P40 - Production de la monture d'installation du panneau	I12 - Installation du panneau photovolatique multi-Si	I20 - Installation de l'ondulleur 2500W	I30 - Installation des composantes de raccordement	I40 - Installation de la monture d'installation du panneau	E12 - Exploitation du panneau photovolatique multi-Si	F12 - Fin de vie du panneau photovolatique multi-Si	F20 - Fin de vie de l'ondulleur 2500W	F30 - Fin de vie des composantes de raccordement	F40 - Fin de vie de la monture d'installation du panneau
Human healt	DALY	4,28E-08	0,00E+00	2,02E-08	6,57E-09	5,77E-09	6,58E-09	1,75E-09	4,02E-10	1,69E-10	4,31E-10	5,23E-12	1,11E-10	1,99E-11	7,98E-10	1,42E-12
Ecosystem qu	PDF*m2*yr	1,60E-02	0,00E+00	6,40E-03	4,00E-03	2,81E-03	1,63E-03	6,74E-04	1,55E-04	6,50E-05	1,66E-04	2,48E-05	6,52E-05	6,95E-06	3,80E-05	3,48E-07
Climate chang	kg CO2 eq	5,10E-02	0,00E+00	3,41E-02	4,66E-03	1,08E-03	7,99E-03	1,55E-03	3,56E-04	1,49E-04	3,81E-04	4,07E-06	1,08E-04	1,82E-05	5,83E-04	1,11E-06
Resources	MJ primary	8,63E-01	0,00E+00	6,06E-01	7,85E-02	2,73E-02	1,09E-01	2,52E-02	5,78E-03	2,43E-03	6,19E-03	5,65E-05	1,58E-03	2,99E-04	1,56E-04	1,99E-05
Aquatic acidif	kg SO2 eq	2,57E-04	0,00E+00	0,00014368	3,8285E-05	2,1696E-05	3,4481E-05	1,1045E-05	2,5385E-06	1,0651E-06	2,719E-06	2,495E-08	8,3724E-07	1,4406E-07	1,5133E-07	1,6626E-08
Aquatic eutro	kg PO4 P-lim	3,84E-06	0,00E+00	3,1693E-06	2,3519E-07	2,5263E-08	2,0579E-07	8,9942E-08	2,0672E-08	8,6736E-09	2,2142E-08	1,4935E-08	3,697E-08	4,2652E-09	7,9134E-10	1,5572E-09

	Production	Distribution	Utilisation	Fin de vie	Total
SH	**91%**	6%	0%	2%	100,00%
QÉ	**93%**	7%	0%	1%	100,00%
CC	**94%**	5%	0%	1%	100,00%
R	**95%**	5%	0%	0%	100,00%
AA	**93%**	7%	0%	0%	100,00%
EA	**95%**	4%	0%	1%	100,00%

MIN	91%	4%	0%	0%
MAX	95%	7%	0%	2%

Détail de l'étape de production - Système solaire photovoltaïque polycristallin

Dans la modélisation de base, les cellules photovoltaïques sont considérées produites en Europe.

			2,27E-04	2,31E-05	9,66E-06	2,20E-04	/kWh

Résumé des résultats (/kWh):

Damage category	Unit	Total Étape de production	Panneau	Onduleur	Raccordement	Monture
Human health	DALY	6,24E-12	4,58E-12	1,52E-13	5,57E-14	1,45E-12
Ecosystem qu	PDF*m2*yr	1,93E-06	1,45E-06	9,25E-08	2,72E-08	3,59E-07
Climate chang	kg CO2 eq	9,62E-06	7,74E-06	1,08E-07	1,04E-08	1,76E-06
Resources	MJ primary	1,64E-04	1,38E-04	1,81E-06	2,64E-07	2,40E-05
Aquatic acidif	kg SO2 eq	4,13E-08	3,26E-08	8,84E-10	2,10E-10	7,59E-09
Aquatic eutro	kg PO4 P-lim	7,70E-10	7,19E-10	5,43E-12	2,44E-13	4,53E-11

Damage category	Total	Panneau	Onduleur	Raccordement	Monture
SH	100%	73%	2%	1%	23%
QÉ	100%	75%	5%	1%	19%
CC	100%	80%	1%	0%	18%
R	100%	84%	1%	0%	15%
AA	100%	79%	2%	1%	18%
EA	100%	93%	1%	0%	6%

Comparaison des systèmes

Compilation des résultats (/kWh):

	Unit	Réseau HQ 2011	Éolienne de petite puissance de 30 kW	Éolienne de petite puissance de 10 kW	Éolienne de petite puissance de 1 kW	Panneaux solaires photovoltaïques monocristallins de 3kWp	Panneaux solaires photovoltaïques polycristallins de 3kWp
Santé humaine	DALY	2,94E-08	6,20E-08	9,45E-08	8,74E-08	4,54E-08	4,28E-08
Qualité des écosystèmes	PDF*m2*yr	8,72E-02	2,04E-02	3,76E-02	3,00E-02	1,62E-02	1,60E-02
Changement climatique	kg CO2 eq	2,34E-02	3,83E-02	8,55E-02	6,95E-02	5,64E-02	5,10E-02
Ressources	MJ primary	5,09E-01	6,15E-01	1,29E+00	1,07E+00	9,85E-01	8,63E-01
Acidification aquatique	kg SO2 eq	1,39E-04	2,41E-04	5,32E-04	4,59E-04	2,82E-04	2,57E-04
Eutrophisation aquatique	kg PO4 P-lim	4,16E-07	1,48E-06	3,81E-06	3,40E-06	4,35E-06	3,84E-06

Par rapport au réseau d'HQ

	Réseau HQ (2	Éolienne de petite puissance de 30 kW	Éolienne de petite puissance de 10 kW	Éolienne de petite puissance de 1 kW	Panneaux solaires photovoltaïques monocristallins de 3kWp	Panneaux solaires photovoltaïques polycristallins de 3kWp
Santé humaine	100%	211%	322%	298%	155%	146%
Qualité des écosystèmes	100%	23%	43%	34%	19%	18%
Changement climatique	100%	163%	365%	297%	241%	218%
Ressources	100%	121%	254%	210%	194%	170%
Acidification aquatique	100%	174%	383%	330%	203%	185%
Eutrophisation aquatique	100%	356%	916%	817%	1046%	922%

Comparaison des sys

Comparaison des technologies entre elles

Compilation des résultats (/kW

	Éoliennes par rapport à 10 kW (pire cas)		**Éoliennes par rapport à 1 kW**									
	Éolienne de petite puissance de 30 kW	Éolienne de petite puissance de 1 kW	Éolienne de petite puissance de 30 kW	Éolienne de petite puissance de 10 kW		PV Mono p/p à poly	Eolienne 30 kW p/r à PV poly-Si		Eolienne 1 kW p/r à PV poly-Si		Eolienne 10 kW p/r à PV poly-Si	
Santé humaine	-34%	-8%	-29%	8%		6%	45%	PV mieux	104%	PV mieux	121%	PV mieux
Qualité des écosystèmes	-46%	-20%	-32%	25%		1%	27%		87%		135%	PV mieux
Changement climatique	-55%	-19%	-45%	23%	1 kW mieux	11%	-25%	Eolienne mieu	36%	PV mieux	68%	PV mieux
Ressources	-52%	-17%	-43%	21%	1 kW mieux	14%	-29%	Eolienne mieu	24%	PV mieux	50%	PV mieux
Acidification aquatique	-55%	-14%	-47%	16%		10%	-6%		79%	PV mieux	107%	PV mieux
Eutrophisation aquatique	-61%	-11%	-56%	12%		13%	-61%	Eolienne mieu	-11%		-1%	
Min	-61%	-20%	-56%	8%		1%	-61%		-11%		-1%	
Max	-34%	-8%	-29%	25%		14%	45%		104%		135%	

Par rapport au réseau d'HQ

Différence par rapport au réseau HQ

	Éolienne de petite puissance de 30 kW	Éolienne de petite puissance de 10 kW	Éolienne de petite puissance de 1 kW	Panneaux solaires photovoltaïques monocristallins de 3kWp	Panneaux solaires photovoltaïques polycristallins de 3kWp	min	
Santé humaine	111%	222%	198%	55%	46%	46%	Santé humaine
Qualité des écosystèmes	-77%	-57%	-66%	-81%	-82%	-82%	Qualité des écosystèmes
Changement climatique	63%	265%	197%	141%	118%	63%	Changement climatique
Ressources	21%	154%	110%	94%	70%	21%	Ressources
Acidification aquatique	74%	283%	230%	103%	85%	74%	Acidification aquatique
Eutrophisation aquatique	256%	816%	717%	946%	822%	256%	Eutrophisation aquatique

Légende: Différence considérées non significative

Sinon, la différence entre les système n'est pas suffisante pour pouvoir trancher

SH	> 30%
QÉ	> 100%
CC	> 10 %
R	> 10%
AA	>30%
EA	>30%

Analyse de sensibilité - Méthode ReCiPe

Calculation:	Compare
Results:	Impact assessment
Product 1:	1 kWh Electricity, low voltage, at grid - Qc U_modif pertes 2011(of project autoproduction)
Product 2:	1 kWh S12-P1 Condition moyenne Électricité, turbine éolienne 30kW (of project autoproduction)
Product 3:	1 kWh S34-P1 Condition moyenne Électricité, turbine éolienne 10kW (of project autoproduction)
Product 4:	1 kWh S56-P1 Condition moyenne Électricité, turbine éolienne 1kW (of project autoproduction)
Product 5:	1 kWh S11-P1-Condition moyenne Électricité, système photovolatique single-Si (of project autoproduction)
Product 6:	1 kWh S12-P1-Condition moyenne Électricité, système photovolatique multi-Si (of project autoproduction)
Method:	**ReCiPe Endpoint (H) V1.03 / World ReCiPe H/H**
Indicator:	Damage assessment
Unit:	%
Skip categories:	Never
Exclude infrastructure pro	No
Exclude long-term emissic	No
Per impact category:	No
Sorted on item:	Damage category
Sort order:	Ascending

Damage category	Unit	Electricity, low voltage, at grid - Qc U_modif pertes 2011	S12-P1 Condition moyenne Électricité, turbine éolienne 30kW	S34-P1 Condition moyenne Électricité, turbine éolienne 10kW	S56-P1 Condition moyenne Électricité, turbine éolienne 1kW	S11-P1-Condition moyenne Électricité, système photovolatique single-Si	S12-P1-Condition moyenne Électricité, système photovolatique multi-Si
Human Health	DALY	6,42E-08	9,34E-08	1,93E-07	1,63E-07	1,24E-07	1,14E-07
Ecosystems	species.yr	2,76E-10	3,59E-10	8,14E-10	6,56E-10	5,41E-10	4,98E-10
Resources	$	7,05E-02	0,21798016	0,4684471	0,38709832	3,00E-01	0,27545077

Par rapport au réseau d'HQ

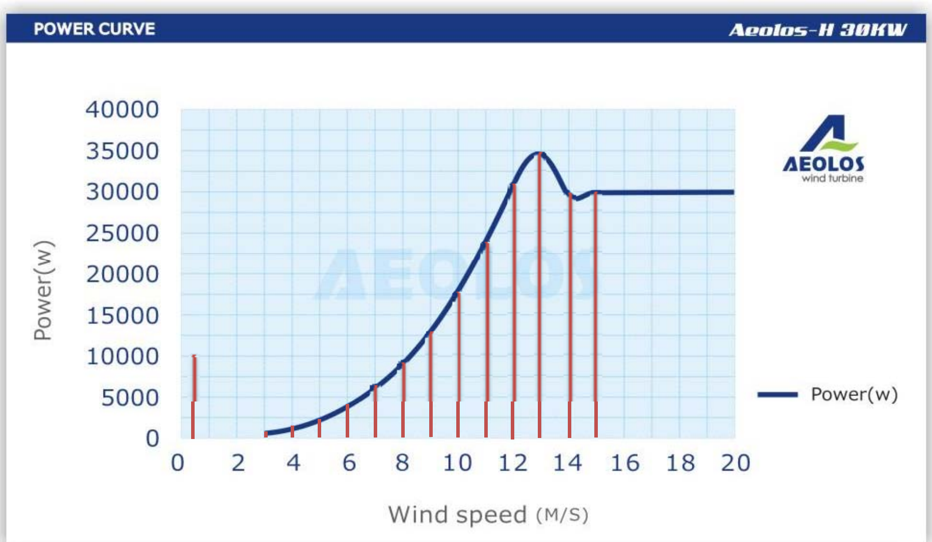
	Réseau HQ	Éolienne de petite puissance de 30 kW	Éolienne de petite puissance de 10 kW	Éolienne de petite puissance de 1 kW	Panneaux solaires photovoltaïques monocristallins de 3kWp	Panneaux solaires photovoltaïques polycristallins de 3kWp
Santé humaine	100%	145%	300%	254%	192%	178%
Écosystèmes	100%	130%	295%	238%	196%	181%
Ressources	100%	309%	665%	549%	425%	391%

Analyse de sensibilité - Rendement annuel moyen des systèmes: DONNÉES TECHNIQUES

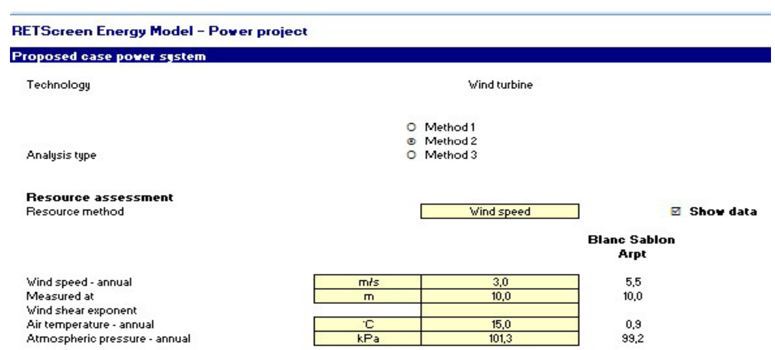
Rendement de l'éolienne 30kW en différentes conditions de vent

La turbine Enercon 30kW listée dans RETScreen n'a pas de courbe de puissance associée.
Différentes courbes d'éoliennes de 30 kW ont été considérées
18-sept-12
http://www.mywindpowersystem.com/products/aeolos-h-30kw-horizontal-axis-wind-turbine-on-grid/

4,1 kW/cm



	Wind speed (m/s)	kW (mesure directe sur graph)	
	0	0	
	1	0	
	2	0	
Min	3	0,7	(départ à 3 m/s)
	4	1,4	
	5	2,2	
	6	3,9	
	7	6,2	
	8	9,0	
Max	9	12,6	
	10	17,5	
	11	23,2	
	12	30,3	
	13	33,7	
	14	29,1	
	15	30,0	
	16	30,0	
	17	30,0	
	18	30,0	
	19	30,0	
	20	30,0	
		30,0	estimation
		30,0	estimation
		30,0	estimation


RETScreen Energy Model - Power project

Proposed case power system

Technology: Wind turbine

Analysis type: Method 1 / Method 2 (selected) / Method 3

Resource assessment

Resource method: Wind speed — ☑ Show data

	Unit		Blanc Sablon Arpt
Wind speed - annual	m/s	3,0	5,5
Measured at	m	10,0	10,0
Wind shear exponent			
Air temperature - annual	°C	15,0	0,9
Atmospheric pressure - annual	kPa	101,3	99,2

Valeurs obtenues avec RETScreen 4.1
Eolienne 30 kW

				Si courbe ecoinvent	
Vitesse de vent	Énergie produite	Facteur d'utilisation	FU calculé	Énergie produite	Facteur d'utilisation
(m/s)	MWh	%		MWh	%
3,0	7,8415	3,0%	3,0%	12,3936	4,7%
3,5	12,8020	4,9%	4,9%	21,9758	8,4%
4,0	17,7626	6,8%	6,8%	31,5579	12,0%

4,5	25,4205	9,7%
5,0	33,0783	12,6%
5,5	42,8423	16,3%
5,6	44,7951	17,0%
6,0	52,6063	20,0%
6,5	63,1275	24,0%
7,0	73,6487	28,0%
7,5	83,7891	31,9%
8,0	93,9295	35,7%
8,5	103,0777	39,2%
	125,0000	

Valeurs retenues pour modélisation

9,7%	44,0478	16,8%
12,6%	56,5377	21,5%
16,3%	69,4959	26,4%
17,0%	72,0875	27,4%
20,0%	82,4541	31,4%
24,0%	94,1572	35,8%
28,0%	105,8603	40,3%
31,9%	115,4245	43,9%
35,7%	124,9887	47,6%
39,2%	132,0309	50,2%
47,6%		

Les FU paraissent élevés.

Wind turbine

Power capacity per turbine	kW	30,0	
Manufacturer		Enercon	
Model		ENERCON - 12 - 24m	
Number of turbines		1	
Power capacity	kW	30,0	
Hub height	m	24,0	3,0 m/s
Rotor diameter per turbine	m	12	
Swept area per turbine	m²	113	
Energy curve data		Standard	
Shape factor		2,0	

☐ **Show data**

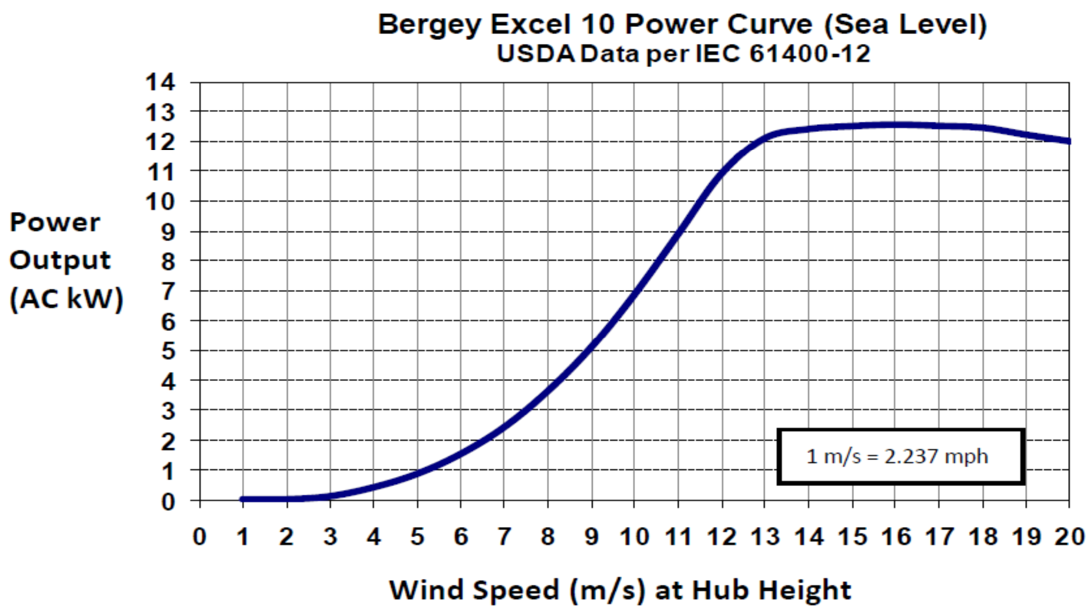
Array losses	%	0,0%
Airfoil losses	%	2,0%
Miscellaneous losses	%	3,0%
Availability	%	95,0%

Summary

Capacity factor	%	3,0%
Electricity exported to grid	MWh	8

Rendement de l'éolienne 10kW en différentes conditions de vent

Tiré de Bergey EXCEL 10 Grid-Inerti Wind Trubine & Powersync II inverter. Owner's Manual
http://www.bergey.com/documents/2012/06/excel-10-owners-manual-2.pdf
Le 18 septembre 2012



	Wind speed (m/s)	kW (mesure directe sur graph)	
	0	0	
	1	0	
	2	0	
Min	3	0,2	(départ à 2,2 m/s)
	4	0,5	
	5	0,9	
	6	1,7	
	7	2,6	
	8	3,8	
Max	9	5,5	
	10	7,3	
	11	9,5	
	12	11,7	
	13	13,0	
	14	13,3	
	15	13,3	
	16	13,3	
	17	13,3	
	18	13,3	
	19	13,0	
	20	12,9	

Valeurs obtenues avec RETScreen 4.1

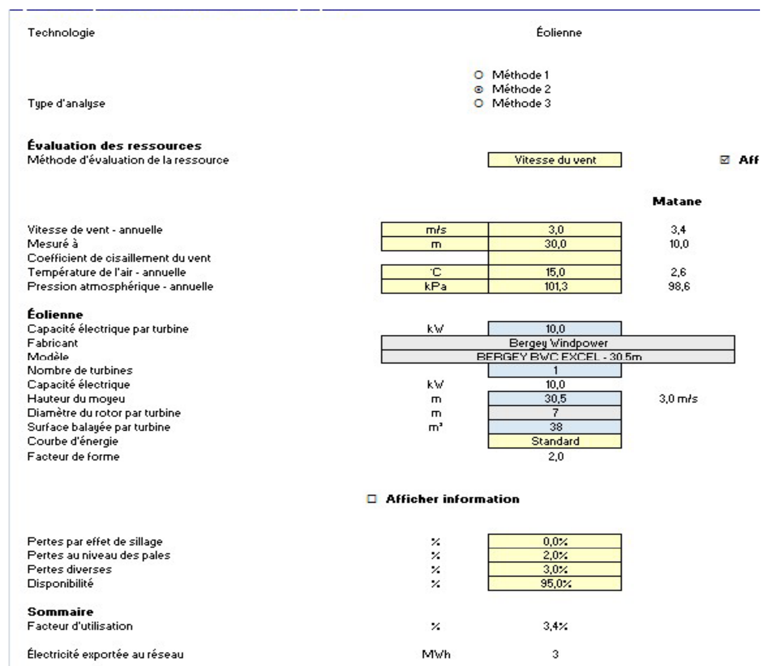
Modèle énergétique RETScreen – Projet de production d'électricité

Système de production d'électricité du cas proposé

Eolienne 10 kW

Avec courbe de Bergey (ci haut) / Courbe dans modèle RETScreen

Vitesse de vent	Énergie produite	Facteur d'utilisation	FU calculé	Énergie produite	Facteur d'utilisation
(m/s)	MWh	%		MWh	%
3,0	3,0039	3,4%	3,4%		
3,5	5,1175	5,8%	5,8%	4,1317	4,7%
4,0	7,2311	8,3%	8,3%		
4,5	10,4524	11,9%	11,9%		
5,0	13,6738	15,6%	15,6%		
5,5	17,7399	20,3%	20,3%		
5,6				15,7462	18,0%
6,0	21,8060	24,9%	24,9%		
6,5	26,1850	29,9%	29,9%		
7,0	30,5639	34,9%	34,9%	24,5760	28,1%
7,5	34,7297	39,6%	39,6%		
8,0	38,8955	44,4%	44,4%		
8,5	42,4727	48,5%	48,5%		
	44,0000		50,2%		
	55,0000		62,8%		



Technologie		Éolienne	
Type d'analyse		○ Méthode 1 ⊙ Méthode 2 ○ Méthode 3	
Évaluation des ressources			
Méthode d'évaluation de la ressource		Vitesse du vent	☑ **Aff**
			Matane
Vitesse de vent - annuelle	m/s	3,0	3,4
Mesuré à	m	30,0	10,0
Coefficient de cisaillement du vent			
Température de l'air - annuelle	°C	15,0	2,6
Pression atmosphérique - annuelle	kPa	101,3	98,6
Éolienne			
Capacité électrique par turbine	kW	10,0	
Fabricant		Bergey Windpower	
Modèle		BERGEY BWC EXCEL - 30.5m	
Nombre de turbines		1	
Capacité électrique	kW	10,0	
Hauteur du moyeu	m	30,5	3,0 m/s
Diamètre du rotor par turbine	m	7	
Surface balayée par turbine	m²	38	
Courbe d'énergie		Standard	
Facteur de forme		2,0	
☐ **Afficher information**			
Pertes par effet de sillage	%	0,0%	
Pertes au niveau des pales	%	2,0%	
Pertes diverses	%	3,0%	
Disponibilité	%	95,0%	
Sommaire			
Facteur d'utilisation	%	3,4%	
Électricité exportée au réseau	MWh	3	

Note: la courbe de puissance disponible dans RETScreen pour l'éolienne Bergey 10kW a été modifiée par celle du manufacturier (voir tableau plus haut)

Perte par effet sillage	0%	(une seule éolienne)
Perte niveau des pales	2%	(estimation)
Pertes diverses	3%	(estimation)
Disponibilité	95%	(estimation)

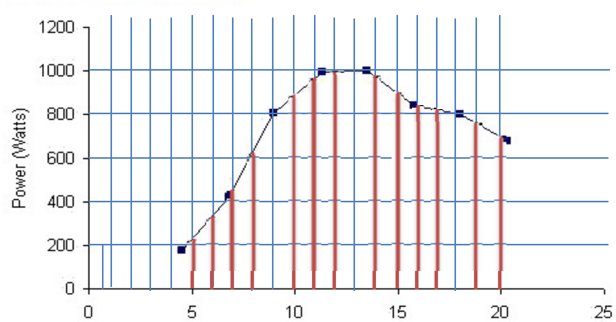
Rendement de l'éolienne 1kW en différentes conditions de vent

La turbine Southwest Windpower (Whisper 200) 1kW listée dans RETScreen n'a pas de courbe de puissance associée.
Différentes courbes d'éoliennes de 1 kW ont été considérées

http://www.renugen.co.uk/small-wind-turbines-listed/southwest-windpower-whisper200-1kw-wind-turbine

Southwest Windpower Whisper200 1kW Wind Turbine Power Output Curve

The graph below shows the typical power produced for the Southwest Windpower Whisper200 1kW Wind Turbine at different wind speeds.



http://www.windenergy.com/products/whisper/whisper-200

0,21 kW/cm

	Wind speed (m/s)	kW (mesure directe sur graph)	
	0	0	
	1	0	
	2	0	
Min	3	*0,10*	est (départ à 3 m/s)
	4	*0,15*	estimation
	5	0,23	
	6	0,33	
	7	0,45	
	8	0,61	
Max	9	0,80	
	10	0,88	
	11	0,95	
	12	1,00	
	13	1,00	
	14	0,96	

Wind Speed (Metres per second)

15	0,89	
16	0,83	
17	0,82	
18	0,80	
19	0,76	
20	0,69	
21	0,5	estimation
22	0,3	estimation
23	0,10	estimation
24	0,00	estimation
25-30	0,00	estimation

Valeurs obtenues avec RETScreen 4.1

Eolienne 1 kW

Vitesse de vent (m/s)	Énergie produite MWh	Facteur d'utilisation %	FU calculé
3,0	0,795	9,1%	9,1%
3,5	1,130	12,9%	12,9%
4,0	1,466	16,7%	16,7%
4,5	1,854	21,2%	21,2%
5,0	2,242	25,6%	25,6%
5,5	2,628	30,0%	30,0%
5,6	2,701	30,8%	30,8%
6,0	3,014	34,4%	34,4%
6,5	3,352	38,3%	38,3%
7,0	3,690	42,1%	42,1%
7,5	3,958	45,2%	45,2%
8,0	4,227	48,2%	48,2%
8,5	4,418	50,4%	50,4%
	4,400		50,2%
	6,000		68,5%

RETScreen Energy Model – Power project

Proposed case power system

Technology		Wind turbine	
Analysis type		○ Method 1 / ◉ Method 2 / ○ Method 3	
Resource assessment			
Resource method		Wind speed	☑ **Show data**
			Blanc Sablon Arpt
Wind speed - annual	m/s	3,0	5,5
Measured at	m	10,0	10,0
Wind shear exponent			
Air temperature - annual	°C	15,0	0,9
Atmospheric pressure - annual	kPa	101,3	99,2
Wind turbine			
Power capacity per turbine	kW	1,0	
Manufacturer		Southwest Windpower	
Model		Whisper 200	
Number of turbines		1	
Power capacity	kW	1,0	
Hub height	m	10,0	3,0 m/s
Rotor diameter per turbine	m	3	
Swept area per turbine	m²	6	
Energy curve data		Standard	
Shape factor		2,0	
	☐ **Show data**		
Array losses	%	0,0%	
Airfoil losses	%	2,0%	
Miscellaneous losses	%	3,0%	
Availability	%	95,0%	
Summary			
Capacity factor	%	9,1%	
Electricity exported to grid	MWh	1	

Perte par effet sillage	0%	(une seule éolienne)
Perte niveau des pales	2%	(estimation)
Pertes diverses	3%	(estimation)
Disponibilité	95%	(estimation)

Rendement des panneaux photovoltaïques monocristallins 3kWp

Avec le logiciel RETScreen, plusieurs conditions d'ensoleillement ont été simulées pour un panneau moncritallin de 3000W

Modèle énergétique RETScreen - Projet de production d'électricité

Système de production d'électricité du cas proposé Surc

Technologie		Photovoltaïque
Type d'analyse		○ Méthode 1 / ◉ Méthode 2
Évaluation des ressources		
Système de positionnement solaire		Fixe
Inclinaison	·	
Azimut	·	

☑ Afficher information

Mois	Rayonnement solaire quotidien - horizontal kWh/m²/j	Rayonnement solaire quotidien - incliné kWh/m²/j	Prix de l'électricité exportée $/MWh	Électricité exportée au réseau MWh
Janvier	1,52	1,52		0,143
Février	2,43	2,43		0,203
Mars	3,57	3,57		0,319
Avril	4,41	4,41		0,368
Mai	5,34	5,34		0,444
Juin	5,77	5,77		0,454
Juillet	5,85	5,85		0,469
Août	4,84	4,84		0,393
Septembre	3,74	3,74		0,303
Octobre	2,31	2,31		0,201
Novembre	1.29	1.29		0.113

Décembre	1,11	1,11		0,104
Annuel	**3,52**	**3,52**	**0,00**	**3,514**

Rayonnement solaire annuel - horizontal	MWh/m²	1,29
Rayonnement solaire annuel - incliné	MWh/m²	1,29
Photovoltaïque		
Type		mono-Si
Capacité électrique	kW	3,00
Fabricant		
Modèle		
Rendement	%	14,0%
Température nominale des cellules en opération	°C	45
Coefficient de température	% / °C	0,40%
Surface du capteur solaire	m²	21
Pertes diverses	%	2,0%
Onduleur		
Rendement	%	93,5%
Capacité	kW	2,5
Pertes diverses	%	0,0%
Sommaire		
Facteur d'utilisation	%	13,4%
Électricité exportée au réseau	MWh	3,514

Rendement ajusté pour que la surface de panneau corresponde à 21 m² (comme modélisé)

Note RETScreen: les **pertes diverses** du champ PV qui n'ont pas été prises en compte ailleurs. Cela inclut, par exemple, les pertes dues à la neige ou aux salissures sur les modules, ou encore les pertes de câblage et d'appariement. Des valeurs typiques vont de quelques pourcents à 15 %. Dans des conditions particulières exceptionnelles, ces pertes pourraient atteindre 20 %.

Onduleur: Rendement et capacité, tel que modélisé.

Pertes: L'utilisateur indique, en %, les pertes diverses du conditionnement de l'énergie, s'il y en a qui n'ont pas été prises en compte précédemment. Ces pertes peuvent, par exemple, comprendre celles d'un convertisseur CC à CC, ou d'un transformateur CA à CA ajoutés au système. Dans la plupart des cas les pertes sont nulles.

Valeurs obtenues avec RETScreen 4.1

Panneau PV 3000W

Lieu	kWh/m².j	Ensoleillement annuel moyen MWh/m²	Énergie produite MWh	Facteur d'utilisation (CF) %	Facteur d'utilisation calculé
Blanc Sablon	2,93	1,07	3,019	11,5%	11,5%
La Grande	3,00	1,09	3,102	11,8%	11,8%
Nitchequon2	3,09	1,13	3,240	12,3%	12,3%
Manovane Est	3,19	1,16	3,289	12,5%	12,5%
Jonquière	3,30	1,20	3,345	12,7%	12,7%
Lac Megantic	3,40	1,24	3,424	13,0%	13,0%
Montréal airport	3,52	1,29	3,514	13,4%	13,4%
Mirabel	3,57	1,30	3,577	13,6%	13,6%
Québec airport	3,62	1,32	3,645	13,9%	13,9%
St-Hubert airport	3,80	1,39	3,793	14,4%	14,4%

Rendement des panneaux photovoltaïques polycristallins 3kWp

Avec le logiciel RETScreen, plusieurs conditions d'ensoleillement ont été simulées pour un panneau moncritallin de 3000W

Modèle énergétique RETScreen - Projet de production d'électricité

Système de production d'électricité du cas proposé Surc

Technologie	Photovoltaïque
Type d'analyse	○ Méthode 1 ◉ Méthode 2
Évaluation des ressources	
Système de positionnement solaire	Fixe
Inclinaison	
Azimut	

☑ Afficher information

Mois	Rayonnement solaire quotidien - horizontal kWh/m²/j	Rayonnement solaire quotidien - incliné kWh/m²/j	Prix de l'électricité exportée $/MWh	Électricité exportée au réseau MWh
Janvier	1,72	1,72		0,161
Février	2,80	2,80		0,233
Mars	4,05	4,05		0,360
Avril	4,64	4,64		0,386
Mai	5,73	5,73		0,476
Juin	6,11	6,11		0,479
Juillet	6,14	6,14		0,491
Août	5,18	5,18		0,420

Septembre	3,85	3,85		0,312
Octobre	2,52	2,52		0,219
Novembre	1,49	1,49		0,130
Décembre	1,34	1,34		0,125
Annuel	**3,80**	**3,80**	**0,00**	**3,793**

Rayonnement solaire annuel - horizontal	MWh/m²	1,39
Rayonnement solaire annuel - incliné	MWh/m²	1,39
Photovoltaïque		
Type		poly-Si
Capacité électrique	kW	3,00
Fabricant		
Modèle		
Rendement	%	13,2%
Température nominale des cellules en opération	°C	45
Coefficient de température	% / °C	0,40%
Surface du capteur solaire	m²	23
Pertes diverses	%	2,0%
Onduleur		
Rendement	%	93,5%
Capacité	kW	2,5
Pertes diverses	%	0,0%
Sommaire		
Facteur d'utilisation	%	14,4%
Électricité exportée au réseau	MWh	3,793

Rendement ajusté pour que la surface de panneau corresponde à 22,8 m² (comme modélisé)

Note RETScreen: les **pertes diverses** du champ PV qui n'ont pas été prises en compte ailleurs. Cela inclut, par exemple, les pertes dues à la neige ou aux salissures sur les modules, ou encore les pertes de câblage et d'appariement. Des valeurs typiques vont de quelques pourcents à 15 %. Dans des conditions particulières exceptionnelles, ces pertes pourraient atteindre 20 %.

Onduleur: Rendement et capacité, tel que modélisé.

L'utilisateur indique, en %, les pertes diverses du conditionnement de l'énergie, s'il y en a qui n'ont pas été prises en compte précédemment. Ces pertes peuvent, par exemple, comprendre celles d'un convertisseur CC à CC, ou d'un transformateur CA à CA ajoutés au système. Dans la plupart des cas les pertes sont nulles.

Pertes:

Valeurs obtenues avec RETScreen 4.1

(résultats identiques au panneaux PV monocristallins)

Panneau PV 3000W

		Ensoleillement annuel moyen	Énergie produite	Facteur d'utilisation
Lieu	kWh/m².j	MWh/m²	MWh	%
Blanc Sablon	2,93	1,07	3,019	11,5%
La Grande	3,00	1,09	3,102	11,8%
Nitchequon2	3,09	1,13	3,240	12,3%
Manovane Est	3,19	1,16	3,289	12,5%
Jonquière	3,30	1,20	3,345	12,7%
Lac Megantic	3,40	1,24	3,424	13,0%
Montréal airport	3,52	1,29	3,514	13,4%
Mirabel	3,57	1,30	3,577	13,6%
Québec airport	3,62	1,32	3,645	13,9%
St-Hubert airport	3,80	1,39	3,793	14,4%

Analyse de sensibilité - Rendement énergétique

Impacts potentiels PAR kWh

Éolienne de petite puissance de 30 kW

Impact par kWh, considérant différentes productions annuelles de l'éolienne - kWh/an

Damage categ	Unit	kWh Réseau HQ	5000	10000	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000	90000	100000	125000
Human healtł	DALY	2,94E-08	6,50E-07	3,25E-07	1,62E-07	1,08E-07	8,12E-08	6,50E-08	5,41E-08	4,64E-08	4,06E-08	3,61E-08	3,25E-08	2,60E-08
Ecosystem qu	PDF*m2*yr	8,72E-02	2,13E-01	1,07E-01	5,33E-02	3,55E-02	2,66E-02	2,13E-02	1,78E-02	1,52E-02	1,33E-02	1,18E-02	1,07E-02	8,53E-03
Climate chang	kg CO2 eq	2,34E-02	4,00E-01	2,00E-01	1,00E-01	6,67E-02	5,00E-02	4,00E-02	3,33E-02	2,86E-02	2,50E-02	2,22E-02	2,00E-02	1,60E-02
Resources	MJ primary	5,09E-01	6,42E+00	3,21E+00	1,61E+00	1,07E+00	8,03E-01	6,42E-01	5,35E-01	4,59E-01	4,02E-01	3,57E-01	3,21E-01	2,57E-01
Aquatic acidif	kg SO2 eq	1,39E-04	0,00252122	0,00126061	0,0006303	0,0004202	0,00031515	0,00025212	0,0002101	0,00018009	0,00015758	0,00014007	0,00012606	0,00010085
Aquatic eutro	kg PO4 P-lim	4,16E-07	1,5448E-05	7,7242E-06	3,8621E-06	2,5747E-06	1,9311E-06	1,5448E-06	1,2874E-06	1,1035E-06	9,6553E-07	8,5825E-07	7,7242E-07	6,1794E-07

Impact relatif p/r à HQ, considérant différentes productions annuelles de l'éolienne - MWh/an — Point de bascule

	kWh Réseau HQ	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	m	b	MWh/an produit	CF	
SH	100%	2213%	1106%	553%	369%	277%	221%	184%	158%	138%	123%	111%	89%	-8,85E-03	1,99E+00	112,0	**43%**	
QE	100%	244%	122%	61%	41%	31%	24%	20%	17%	15%	14%	12%	10%	-6,11E-02	1,83E+00	13,6	**5%**	*Impossible de conclure étant donné les incertitudes*
CC	100%	1707%	854%	427%	285%	213%	171%	142%	122%	107%	95%	85%	68%	-1,19E-02	2,02E+00	85,7	**33%**	
R	100%	1263%	631%	316%	210%	158%	126%	105%	90%	79%	70%	63%	51%	-1,50E-02	1,95E+00	63,5	**24%**	
AA	100%	1815%	907%	454%	302%	227%	181%	151%	130%	113%	101%	91%	73%	-1,01E-02	1,92E+00	90,8	**35%**	
EA	100%	3714%	1857%	929%	619%	464%	371%	310%	265%	232%	206%	186%	149%	-1,49E-02	3,34E+00	157,7	**60%**	*Rendement >50% considéré impossible*

Cas de base						
	52,56	**52,56**	**52,56**	**52,56**	**52,56**	**52,56**
	211%	23%	163%	121%	174%	356%
	SH	QE	CC	R	AA	EA

Éolienne de petite puissance de 10 kW

Impact par kWh, considérant différentes productions annuelles de l'éolienne - kWh/an

Damage categ	Unit	kWh Réseau HQ	2500	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000	55000
Human healtł	DALY	2,94E-08	8,59E-07	4,29E-07	2,15E-07	1,43E-07	1,07E-07	8,59E-08	7,16E-08	6,13E-08	5,37E-08	4,77E-08	4,29E-08	3,90E-08
Ecosystem qu	PDF*m2*yr	8,72E-02	3,42E-01	1,71E-01	8,55E-02	5,70E-02	4,28E-02	3,42E-02	2,85E-02	2,44E-02	2,14E-02	1,90E-02	1,71E-02	1,55E-02
Climate chang	kg CO2 eq	2,34E-02	7,77E-01	3,89E-01	1,94E-01	1,30E-01	9,72E-02	7,77E-02	6,48E-02	5,55E-02	4,86E-02	4,32E-02	3,89E-02	3,53E-02
Resources	MJ primary	5,09E-01	1,18E+01	5,88E+00	2,94E+00	1,96E+00	1,47E+00	1,18E+00	9,79E-01	8,39E-01	7,34E-01	6,53E-01	5,88E-01	5,34E-01
Aquatic acidif	kg SO2 eq	1,39E-04	0,00484073	0,00242036	0,00121018	0,00080679	0,00060509	0,00048407	0,00040339	0,00034577	0,00030255	0,00026893	0,00024204	0,00022003
Aquatic eutro	kg PO4 P-lim	4,16E-07	3,4633E-05	1,7317E-05	8,6583E-06	5,7722E-06	4,3292E-06	3,4633E-06	2,8861E-06	2,4738E-06	2,1646E-06	1,9241E-06	1,7317E-06	1,5742E-06

En gris pâle: rendements > 50%, pas possible

Impact relatif p/r à HQ, considérant différentes productions annuelles de l'éolienne - MWh/an — Point de bascule

	kWh Réseau HQ	2,5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	m	b	MWh/an produit	CF	
SH	100%	2926%	1463%	731%	488%	366%	293%	244%	209%	183%	163%	146%	133%	-2,66E-02	2,79E+00	67,4	**77%**	*Rendement >50% considéré impossible*
QE	100%	392%	196%	98%	65%	49%	39%	33%	28%	25%	22%	20%	18%	-1,96E-01	2,94E+00	9,9	**11%**	*Impossible de conclure étant donné les incertitudes*
CC	100%	3318%	1659%	829%	553%	415%	332%	276%	237%	207%	184%	166%	151%	-3,02E-02	3,67E+00	88,5	**101%**	*Rendement impossible*
R	100%	2309%	1155%	577%	385%	289%	231%	192%	165%	144%	128%	115%	105%	-2,10E-02	2,20E+00	57,4	**65%**	*Rendement >50% considéré impossible*
AA	100%	3485%	1742%	871%	581%	436%	348%	290%	249%	218%	194%	174%	158%	-3,17E-02	3,33E+00	73,4	**84%**	*Rendement >50% considéré impossible*
EA	100%	8327%	4164%	2082%	1388%	1041%	833%	694%	595%	520%	463%	416%	379%	-7,57E-02	7,95E+00	91,8	**105%**	*Rendement impossible*

Cas de base						
	22,756	22,756	22,756	22,756	22,756	22,756
	322%	43%	365%	254%	383%	916%

Éolienne de petite puissance de 1 kW

Impact par kWh, considérant différentes productions annuelles de l'éolienne - kWh/an

Damage categ	Unit	kWh Réseau HQ	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
Human healtł	DALY	2,94E-08	3,97E-07	1,99E-07	1,32E-07	9,93E-08	7,94E-08	6,62E-08	5,67E-08	4,96E-08	4,41E-08	3,97E-08	3,61E-08	3,31E-08
Ecosystem qu	PDF*m2*yr	8,72E-02	1,36E-01	6,81E-02	4,54E-02	3,41E-02	2,73E-02	2,27E-02	1,95E-02	1,70E-02	1,51E-02	1,36E-02	1,24E-02	1,14E-02
Climate chang	kg CO2 eq	2,34E-02	3,16E-01	1,58E-01	1,05E-01	7,90E-02	6,32E-02	5,26E-02	4,51E-02	3,95E-02	3,51E-02	3,16E-02	2,87E-02	2,63E-02
Resources	MJ primary	5,09E-01	4,86E+00	2,43E+00	1,62E+00	1,22E+00	9,72E-01	8,10E-01	6,94E-01	6,08E-01	5,40E-01	4,86E-01	4,42E-01	4,05E-01
Aquatic acidif	kg SO2 eq	1,39E-04	0,00208578	0,00104289	0,00069526	0,00052145	0,00041716	0,00034763	0,00029797	0,00026072	0,00023175	0,00020858	0,00018962	0,00017382
Aquatic eutro	kg PO4 P-lim	4,16E-07	1,5449E-05	7,7244E-06	5,1496E-06	3,8622E-06	3,0898E-06	2,5748E-06	2,207E-06	1,9311E-06	1,7165E-06	1,5449E-06	1,4044E-06	1,2874E-06

En gris pâle: rendements > 50%, pas possible

Impact relatif p/r à HQ, considérant différentes productions annuelles de l'éolienne - MWh/an — Point de bascule

	kWh Réseau HQ	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	m	b	MWh/an produit	CF	
Santé humaine	100%	1353%	676%	451%	338%	271%	225%	193%	169%	150%	135%	123%	113%	-2,05E-01	2,36E+00	6,6	**76%**	*Rendement >50% considéré impossible*
QE	100%	156%	78%	52%	39%	31%	26%	22%	20%	17%	16%	14%	13%	-1,56E+00	2,34E+00	0,9	**10%**	*Impossible de conclure étant donné les incertitudes*
Changement climatique	100%	1348%	674%	449%	337%	270%	225%	193%	169%	150%	135%	123%	112%	-2,04E-01	2,35E+00	6,60	**75%**	*Rendement >50% considéré impossible*
Ressource	100%	955%	478%	318%	239%	191%	159%	136%	119%	106%	96%	87%	80%	-2,12E-01	2,02E+00	4,8	**55%**	*Rendement >50% considéré impossible*
Acidification aquatique	100%	1502%	751%	501%	375%	300%	250%	215%	188%	167%	150%	137%	125%	-2,28E-01	2,62E+00	7,1	**81%**	*Rendement >50% considéré impossible*
Eutrophisation aquatique	100%	3715%	1857%	1238%	929%	743%	619%	531%	464%	413%	371%	338%	310%	-5,63E-01	6,47E+00	9,7	**111%**	*Rendement impossible*

Cas de base						
	2,314	2,314	2,314	2,314	2,314	2,314
	298%	34%	297%	210%	330%	817%

Système photovoltaïque monocristallin 3Wp

Pour 3 kWp de panneau.

Impact par kWh, considérant différentes productions (kWh/3 kWp de panneau)

Damage categ	Unit	kWh Réseau HQ	1051	2000	2050	2100	2500	3000	5000
Human healtł	DALY	2,94E-08	1,49E-07	7,84E-08	7,65E-08	7,47E-08	6,27E-08	5,23E-08	3,14E-08
Ecosystem qu	PDF*m2*yr	8,72E-02	5,31E-02	2,79E-02	2,72E-02	2,66E-02	2,23E-02	1,86E-02	1,12E-02
Climate chang	kg CO2 eq	2,34E-02	1,85E-01	9,73E-02	9,50E-02	9,27E-02	7,79E-02	6,49E-02	3,89E-02
Resources	MJ primary	5,09E-01	3,23E+00	1,70E+00	1,66E+00	1,62E+00	1,36E+00	1,13E+00	6,80E-01

Production nominale 26280

Aquatic acidif	kg SO2 eq	1,39E-04	0,00092477	0,0004861	0,00047425	0,00046295	0,00038888	0,00032407	0,00019444
Aquatic eutro	kg PO4 P-lim	4,16E-07	1,4281E-05	7,5065E-06	7,3235E-06	7,1491E-06	6,0052E-06	5,0044E-06	3,0026E-06

Impact relatif p/r à HQ, en fonction de la production de 3kWp de panneau

	kWh Réseau HQ	1051	2000	2050	2100	2500	3000	5000
Santé humaine	100%	508%	267%	260%	254%	214%	178%	107%
QE	100%	61%	32%	31%	31%	26%	21%	13%
Changement climatique	100%	790%	415%	405%	396%	332%	277%	166%
Ressource	100%	635%	334%	326%	318%	267%	223%	134%
Acidification aquatique	100%	666%	350%	341%	333%	280%	233%	140%
Eutrophisation aquatique	100%	3434%	1805%	1761%	1719%	1444%	1203%	722%
Cas de base		3450	3450	3450	3450	3450	3450	
		155%	19%	241%	194%	203%	1046%	

Cas de base
3450

Le facteur d'utilisation le plus élevé calculé par RETscreen pour les conditions d'ensoleillement au Québec est de 14,4%.

Point de bascule

m	b	kWh/an produit	**CF**	% d'augmentation p/r au cas de base	
-3,56E-04	2,85E+00	5 191,0	**20%**	50%	*Rendement > 15% semble peu probable*
-3,05E-04	9,29E-01	(231,8)		*Impossible de conclure étant donné les incertitudes*	
-5,54E-04	4,43E+00	6 194,7	**24%**	80%	*Rendement > 15% semble peu probable*
-4,45E-04	3,56E+00	5 754,8	**22%**	67%	*Rendement > 15% semble peu probable*
-4,67E-04	3,73E+00	5 856,8	**22%**	70%	*Rendement > 15% semble peu probable*
-2,41E-03	1,93E+01	7 584,5	**29%**	120%	*Rendement > 15% semble peu probable*

Système photovoltaïque polycristallin 3Wp

Pour 3 kWp de panneau.

Impact par kWh, considérant différentes productions (kWh/3 kWp de panneau)

Damage categ	Unit	kWh Réseau HQ	1051	2000	2050	2100	2500	3000	5000
Human health	DALY	2,94E-08	1,41E-07	7,39E-08	7,21E-08	7,03E-08	5,91E-08	4,92E-08	2,95E-08
Ecosystem qu	PDF*m2*yr	8,72E-02	5,27E-02	2,77E-02	2,70E-02	2,64E-02	2,22E-02	1,85E-02	1,11E-02
Climate chang	kg CO2 eq	2,34E-02	1,67E-01	8,80E-02	8,58E-02	8,38E-02	7,04E-02	5,86E-02	3,52E-02
Resources	MJ primary	5,09E-01	2,83E+00	1,49E+00	1,45E+00	1,42E+00	1,19E+00	9,92E-01	5,95E-01
Aquatic acidif	kg SO2 eq	1,39E-04	0,00084277	0,000443	0,0004322	0,0004219	0,0003544	0,00029533	0,0001772
Aquatic eutro	kg PO4 P-lim	4,16E-07	1,2582E-05	6,6136E-06	6,4522E-06	6,2986E-06	5,2908E-06	4,409E-06	2,6454E-06

Impact relatif p/r à HQ, en fonction de la production de 3kWp de panneau

	kWh Réseau HQ	1051	2000	2050	2100	2500	3000	5000
SH	100%	479%	252%	245%	240%	201%	168%	101%
QE	100%	60%	32%	31%	30%	25%	21%	13%
CC	100%	714%	375%	366%	358%	300%	250%	150%
R	100%	556%	293%	285%	279%	234%	195%	117%
AA	100%	607%	319%	311%	304%	255%	213%	128%
EA	100%	3025%	1590%	1551%	1514%	1272%	1060%	636%
Cas de base		3450	3450	3450	3450	3450	3450	
		146%	18%	218%	170%	185%	922%	

Cas de base
3450

Le facteur d'utilisation le plus élevé calculé par RETscreen pour les conditions d'ensoleillement au Québec est de 14,4%.

Point de bascule

m	b	MWh/an produit	**CF**	% d'augmentation p/r au cas de base	
-3,35E-04	2,68E+00	5 018,8	**19%**	45%	*Rendement > 15% semble peu probable*
-3,02E-04	9,22E-01	(259,6)		*Impossible de conclure étant donné les incertitudes*	
-5,01E-04	4,00E+00	6 002,2	**23%**	74%	*Rendement > 15% semble peu probable*
-3,90E-04	3,12E+00	5 435,9	**21%**	58%	*Rendement > 15% semble peu probable*
-4,25E-04	3,40E+00	5 648,2	**21%**	64%	*Rendement > 15% semble peu probable*
-2,12E-03	1,70E+01	7 528,4	**29%**	118%	*Rendement > 15% semble peu probable*

Analyse de sensibilité - Comparaison à différentes sources d'approvisionnement électrique marginales

Compilation des résultats (/kWh d'électricité produite)

	Unit	Electricity, low voltage, at grid - Qc U, 2011	Éolienne de petite puissance de 30 kW	Éolienne de petite puissance de 10 kW	Éolienne de petite puissance de 1 kW	Panneaux solaires photovoltaïques monocristallins de 3kWp	Panneaux solaires photovoltaïques polycristallins de 3kWp	Electricity, Natural gas, at power plant			Electricity, Coal, at power plant			Electricity, oil, at power plant			Electricity, low voltage, at grid - Am N U	Electricity, low voltage, at grid - Ca U
								moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max		
Santé humaine	DALY	2,94E-08	6,20E-08	9,45E-08	8,74E-08	4,54E-08	4,28E-08	9,96E-07	6,88E-08	1,81E-06	4,55E-07	4,36E-07	4,85E-07	4,17E-07	2,30E-07	6,06E-07	3,7408E-07	1,9157E-07
Qualité des écosystèmes	PDF*m2*yr	8,72E-02	2,04E-02	3,76E-02	3,00E-02	1,62E-02	1,60E-02	1,13E-02	8,74E-03	1,58E-02	1,43E-01	1,37E-01	1,52E-01	1,14E-01	5,64E-02	1,69E-01	0,12347781	0,10213396
Changement climatiq	kg CO2 eq	2,34E-02	3,83E-02	8,55E-02	6,95E-02	5,64E-02	5,10E-02	6,14E-01	4,50E-01	9,26E-01	1,09E+00	1,04E+00	1,16E+00	1,12E+00	6,73E-01	1,60E+00	0,70554057	0,31544368
Ressources	MJ primary	5,09E-01	6,15E-01	1,29E+00	1,07E+00	9,85E-01	8,63E-01	1,25E+01	9,43E+00	1,86E+01	1,13E+01	1,08E+01	1,21E+01	1,69E+01	1,02E+01	2,42E+01	12,200038	6,2989672
Acidification aquatique		1,39E-04	2,41E-04	5,32E-04	4,59E-04	2,82E-04	2,57E-04	5,11E-03	0,00052584	0,00919552	5,44E-03	5,21E-03	5,81E-03	4,11E-03	2,48E-03	5,90E-03		
Eutrophisation aquatique		4,16E-07	1,48E-06	3,81E-06	3,40E-06	4,35E-06	3,84E-06	5,31E-06	9,5242E-07	9,3629E-06	2,75E-06	2,63E-06	2,94E-06	1,07E-04	6,47E-05	1,54E-04		

Analyse de sensibilité - Distances de transport pour les composantes éoliennes

Impacts potentiels PAR kWh

Éolienne de petite puissance de 30 kW

Impact par kWh, considérant différentes distances de transport des composantes - km

Damage categ	Unit	kWh Réseau HQ	250	500	750	1000	1500	2000
Human health	DALY	2,94E-08	4,97E-08	5,22E-08	5,46E-08	5,71E-08	6,20E-08	6,70E-08
Ecosystem qu	PDF*m2*yr	8,72E-02	1,56E-02	1,66E-02	1,75E-02	1,85E-02	2,04E-02	2,23E-02
Climate chang	kg CO2 eq	2,34E-02	2,74E-02	2,96E-02	3,17E-02	3,39E-02	3,83E-02	4,27E-02
Resources	MJ primary	5,09E-01	4,37E-01	4,73E-01	5,08E-01	5,44E-01	6,15E-01	6,86E-01
Aquatic acidifi	kg SO2 eq	1,39E-04	0,00016342	0,00017898	0,00019454	0,0002101	0,00024123	0,00027235
Aquatic eutro	kg PO4 P-lim	4,16E-07	8,4646E-07	9,7318E-07	1,0999E-06	1,2266E-06	1,4801E-06	1,7335E-06

Impact relatif p/r à HQ, en fct de la distance de transport des composantes - km

Point de bascule

	kWh Réseau HQ	250	500	750	1000	1500	2000	m	b	Distance de trp (km)	
SH	100%	169%	178%	186%	195%	211%	228%	3,36E-04	1,61E+00	(1 814)	*Éolienne jamais préférable au réseau selon cet indicateur*
QE	100%	18%	19%	20%	21%	23%	26%	4,36E-05	1,68E-01	19 092	*Impossible de conclure étant donné les incertitudes*
CC	100%	117%	126%	135%	145%	163%	182%	3,73E-04	1,08E+00	(202)	*Éolienne jamais préférable au réseau selon cet indicateur*
R	100%	86%	93%	100%	107%	121%	135%	2,79E-04	7,90E-01	753	
AA	100%	118%	129%	140%	151%	174%	196%	4,48E-04	1,06E+00	(144)	*Éolienne jamais préférable au réseau selon cet indicateur*
EA	100%	204%	234%	264%	295%	356%	417%	1,22E-03	1,73E+00	(599)	*Éolienne jamais préférable au réseau selon cet indicateur*

Cas de base	2000	2000	2000	2000	2000	2000
	228%	26%	182%	135%	196%	417%

Éolienne de petite puissance de 10 kW

Impact par kWh, considérant différentes distances de transport des composantes - km

Damage categ	Unit	kWh Réseau HQ	250	500	750	1000	1500	2000
Human health	DALY	2,94E-08	5,81E-08	6,54E-08	7,27E-08	7,99E-08	9,45E-08	1,09E-07
Ecosystem qu	PDF*m2*yr	8,72E-02	2,36E-02	2,64E-02	2,92E-02	3,20E-02	3,76E-02	4,32E-02
Climate chang	kg CO2 eq	2,34E-02	5,33E-02	5,98E-02	6,62E-02	7,26E-02	8,55E-02	9,84E-02
Resources	MJ primary	5,09E-01	7,70E-01	8,74E-01	9,79E-01	1,08E+00	1,29E+00	1,50E+00
Aquatic acidifi	kg SO2 eq	1,39E-04	0,000303	0,0003489	0,00039479	0,00044069	0,00053248	0,00062427
Aquatic eutro	kg PO4 P-lim	4,16E-07	1,941E-06	2,3147E-06	2,6884E-06	3,0622E-06	3,8096E-06	4,5571E-06

Impact relatif p/r à HQ, en fct de la distance de transport des composantes - km

Point de bascule

	kWh Réseau HQ	250	500	750	1000	1500	2000	m	b	Distance de trp (km)	
SH	100%	198%	223%	248%	272%	322%	371%	9,90E-04	1,73E+00	(740)	*Éolienne jamais préférable au réseau selon cet indicateur*
QE	100%	27%	30%	34%	37%	43%	50%	1,28E-04	2,39E-01	5 925	*Impossible de conclure étant donné les incertitudes*
CC	100%	228%	255%	283%	310%	365%	420%	1,10E-03	2,00E+00	(910)	*Éolienne jamais préférable au réseau selon cet indicateur*
R	100%	151%	172%	192%	213%	254%	295%	8,22E-04	1,31E+00	(374)	*Éolienne jamais préférable au réseau selon cet indicateur*
AA	100%	218%	251%	284%	317%	383%	449%	1,32E-03	1,85E+00	(644)	*Éolienne jamais préférable au réseau selon cet indicateur*
EA	100%	467%	557%	646%	736%	916%	1096%	3,59E-03	3,77E+00	(770)	*Éolienne jamais préférable au réseau selon cet indicateur*

Cas de base	2000	2000	2000	2000	2000	2000
	371%	50%	420%	295%	449%	1096%

Éolienne de petite puissance de 1 kW

Impact par kWh, considérant différentes distances de transport des composantes - km

Damage categ	Unit	kWh Réseau HQ	250	500	750	1000	1500	2000
Human health	DALY	2,94E-08	6,58E-08	7,01E-08	7,44E-08	7,88E-08	8,74E-08	9,60E-08
Ecosystem qu	PDF*m2*yr	8,72E-02	2,17E-02	2,33E-02	2,50E-02	2,67E-02	3,00E-02	3,33E-02
Climate chang	kg CO2 eq	2,34E-02	5,04E-02	5,42E-02	5,80E-02	6,19E-02	6,95E-02	7,71E-02
Resources	MJ primary	5,09E-01	7,59E-01	8,21E-01	8,83E-01	9,45E-01	1,07E+00	1,19E+00

Aquatic acidifi kg SO2 eq	1,39E-04	0,0003228	0,00035001	0,00037723	0,00040444	0,00045887	0,0005133					
Aquatic eutro kg PO4 P-lim	4,16E-07	2,2906E-06	2,5123E-06	2,7339E-06	2,9555E-06	3,3987E-06	3,842E-06					
										Point de bascule		
		Impact relatif p/r à HQ, en fct de la distance de transport des composantes - km								Distance de trp (km)		
	kWh Réseau HQ	250	500	750	1000	1500	2000	m	b			
Santé humaine	100%	224%	239%	254%	268%	298%	327%	5,87E-04	2,10E+00	(1 865)	*Éolienne jamais préférable au réseau selon cet indicateur*	
QE	100%	25%	27%	29%	31%	34%	38%	7,62E-05	2,30E-01	10 112	*Impossible de conclure étant donné les incertitudes*	
Changement climatique	100%	215%	231%	248%	264%	297%	329%	6,52E-04	1,99E+00	(1 516)	*Éolienne jamais préférable au réseau selon cet indicateur*	
Ressource	100%	149%	161%	174%	186%	210%	235%	4,87E-04	1,37E+00	(760)	*Éolienne jamais préférable au réseau selon cet indicateur*	
Acidification aquatique	100%	232%	252%	272%	291%	330%	370%	7,84E-04	2,13E+00	(1 439)	*Éolienne jamais préférable au réseau selon cet indicateur*	
Eutrophisation aquatique	100%	551%	604%	657%	711%	817%	924%	2,13E-03	4,97E+00	(1 865)	*Éolienne jamais préférable au réseau selon cet indicateur*	

Cas de base	2000	2000	2000	2000	2000	2000
	327%	38%	329%	235%	370%	924%

Analyse de sensibilité - Lieu de production des panneaux solaires

Panneau produit en Am du Nord ou en Ontario
Cellule PV produite en Europe ou en Am du Nord

Constat: le lieu de production de la cellule PV a plus d'influence que le lieu de montage du panneau.
La cell. PV a plus d'impacts lorsque produite en Am du Nord.
L'effet de la production en Ontario est négligeable.

Panneaux monocristallins - Étape de production seulement

Damage category	Unit	P11 - Production du panneau photovolatique single-Si	P11 - Production du panneau photovolatique single-Si_AS prod. Ontario	P11 - Production du panneau photovolatique single-Si_prod.cell AmN	P11 - Production du panneau photovolatique single-Si_prod.cell AmN et Ontario	Différence si production du panneau en Ontario (Vs Am du N)	Différence si production de la cell. en Am du N (vs Europe)
Human health	DALY	0,00010962	0,00010928	0,00012151	0,000121172	-0,3%	11%
Ecosystem quality	PDF*m2*yr	31,403143	31,457448	32,009917	32,065974	0,2%	2%
Climate change	kg CO2 eq	188,44614	186,784	217,73625	216,07123	-0,9%	16%
Resources	MJ primary	3460,081	3457,9181	3684,0885	3682,0374	-0,1%	6%
Aquatic acidification	**kg SO2 eq**	**0,80580053**	**0,80299933**	**0,89577728**	**0,89299665**	-0,3%	11%
Aquatic eutrophication	**kg PO4 P-lim**	**0,01740641**	**0,01763597**	**0,01753616**	**0,017765897**	1,3%	1%

Panneaux polycristallins - Étape de production seulement

Damage category	Unit	P12 - Production du panneau photovolatique multi-Si	P12 - Production du panneau photovolatique multi-Si_AS prod. Ontario	P12 - Production du panneau photovolatique multi-Si_prod. cell AmN	P12 - Production du panneau photovolatique multi-Si_prod. cell AmN et Ontario	Différence si production du panneau en Ontario (Vs Am du N)	Différence si production de la cell. en Am du N (vs Europe)
Human health	DALY	8,89E-05	8,86E-05	9,77E-05	9,73E-05	-0,4%	10%
Ecosystem quality	PDF*m2*yr	28,182465	28,23677	28,748862	28,803167	0,2%	2%
Climate change	kg CO2 eq	150,19585	148,53371	170,68693	169,02479	-1,1%	14%
Resources	MJ primary	2669,1997	2667,0367	2876,2035	2874,0406	-0,1%	8%
Aquatic acidification	**kg SO2 eq**	**0,63296137**	**0,63016016**	**0,70125714**	**0,69845594**	-0,4%	11%
Aquatic eutrophication	**kg PO4 P-lim**	**0,01396164**	**0,0141912**	**0,01407008**	**0,014299646**	1,6%	1%

Production AmN et Ontario - intégré au cycle de vie complet des panneaux photovoltaïques

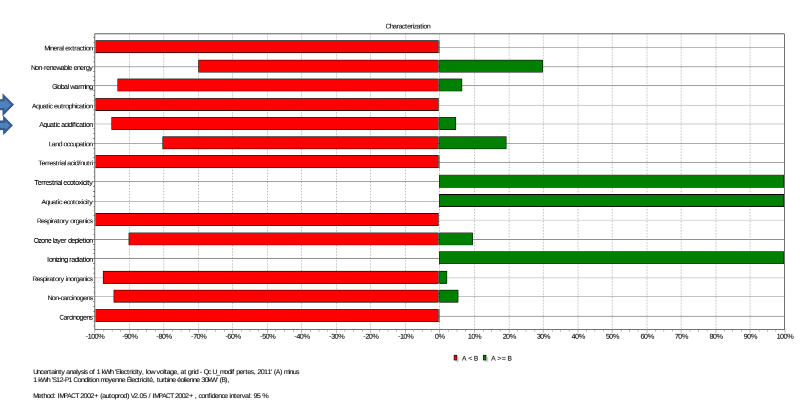
				Par rapport à l'évaluation de base	
Damage category	Unit	S11-P1-Condition moyenne Électricité, système photovolatique single-Si_AS prod Ontario/AmN	S12-P1-Condition moyenne Électricité, système photovolatique multi-Si_AS prod Ontario/AmN	Monocristallin	Polycristallin
Human health	DALY	4,79E-08	4,47E-08	5%	4%
Ecosystem quality	PDF*m2*yr	0,01631666	0,0161785	1%	1%
Climate change	kg CO2 eq	0,06230719	0,0552507	10%	8%
Resources	MJ primary	1,0324905	0,90910664	5%	5%
Aquatic acidification	**kg SO2 eq**	**0,00030028**	**0,00027155**	7%	6%
Aquatic eutrophication	**kg PO4 P-lim**	**4,43E-06**	**3,91E-06**	2%	2%

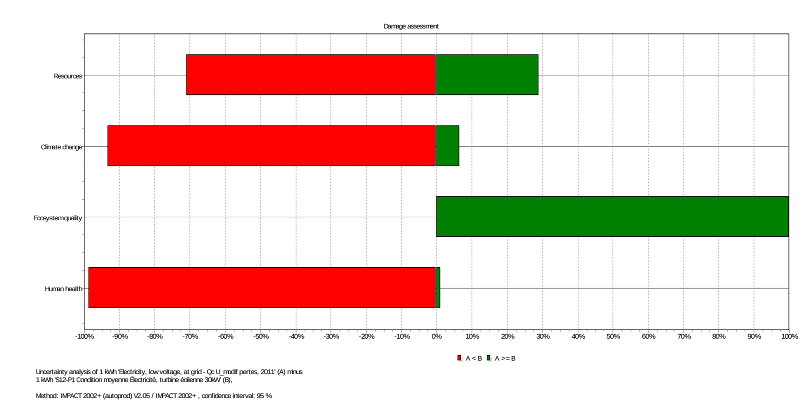
Analyse Monte Carlo - Comparaison Réseau HQ et Eolienne 30 kW

A: **Réseau HQ**
B: **Éolienne 30 kW**

Légende:
- Aucune inversion possible
- Inversion possible, mais faible probabilité (< ou =15%) - par rapport aux résultats déterministes des ongles précédents
- Inversion possible, probabilité élevée (> 15%) - par rapport aux résultats déterministes des ongles précédents

Number of runs performed	750
Total calculation time	10:04:43,940:838
Part of values that contain uncertainty data	68,90%
Distribution	Count
Total	60233
Undefined	18729 (31,1%)
Lognormal	41481 (68,9%)
Normal	7 (0,0116%)
Triangle	8 (0,0133%)
Uniform	8 (0,0133%)





Impact category	A >= B	Mean	Median	SD	CV (Coefficien	2,50%	97,50%	Std.err.of mean
Aquatic acidification	4,93%	-0,000102	-9,70E-05	6,83E-05	-67%	-0,000259	2,28E-05	-0,0245
Aquatic ecotoxicity	100%	18	16,9	7,18	39,90%	7,35	36,3	0,0146
Aquatic eutrophication	0,13%	-1,06E-06	-9,59E-07	5,05E-07	-47,60%	-2,22E-06	-3,34E-07	-0,0174
Carcinogens	0%	-0,00145	-0,00132	0,00058	-40,10%	-0,00296	-0,00066	-0,0146
Global warming	6,67%	-0,0146	-0,0143	0,00966	-66%	-0,0334	0,00495	-0,0241
Ionizing radiation	100%	2,31	1,43	3,45	149%	0,34	9,36	0,0545
Land occupation	19,60%	-0,000104	-8,13E-05	0,000168	-162%	-0,000488	0,000118	-0,0592
Mineral extraction	0%	-0,00808	-0,00806	0,00127	-15,70%	-0,0108	-0,00558	-0,00574
Non-carcinogens	5,60%	-0,00354	-0,00295	0,00291	-82,40%	-0,0106	0,00104	-0,0301
Non-renewable energy	30,10%	-0,0988	-0,105	0,254	-257%	-0,527	0,414	-0,0939
Ozone layer depletion	9,87%	-1,82E-09	-1,62E-09	1,77E-09	-97,40%	-6,28E-09	1,42E-09	-0,0356
Respiratory inorganics	2,40%	-2,72E-05	-2,62E-05	1,51E-05	-55,40%	-6,33E-05	-1,58E-07	-0,0202
Respiratory organics	0,13%	-1,75E-05	-1,64E-05	7,19E-06	-41%	-3,45E-05	-6,92E-06	-0,015
Terrestrial acid/nutri	0%	-0,000838	-0,000765	0,000409	-48,80%	-0,00192	-0,00023	-0,0178
Terrestrial ecotoxicity	100%	8,47	7,84	3,63	42,90%	2,76	17,5	0,0157

Confidence interval: 95

Damage category	A >= B	Mean	Median	SD	CV (Coefficien	2,50%	97,50%	Std.err.of mean
Climate change	6,67%	-0,0146	-0,0143	0,00966	-66%	-0,0334	0,00495	-0,0241
Ecosystem quality	100%	0,067	0,0619	0,0292	43,70%	0,0205	0,139	0,0159
Human health	1,20%	-3,25E-08	-3,24E-08	1,56E-08	-47,90%	-6,48E-08	-4,38E-09	-0,0175
Resources	29,10%	-0,107	-0,113	0,254	-238%	-0,536	0,406	-0,0869

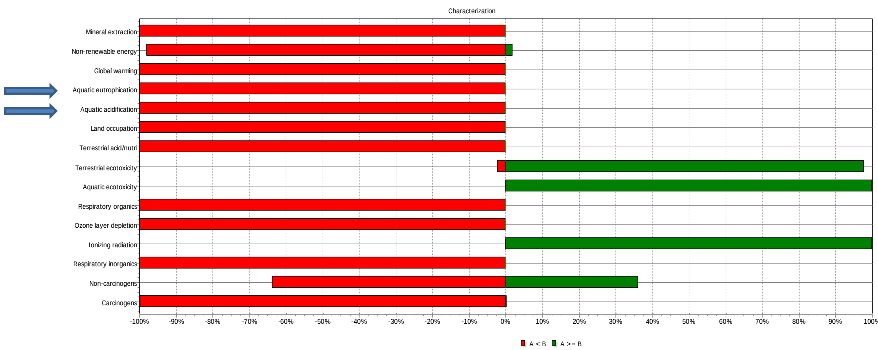
Confidence interval: 95

Analyse Monte Carlo - Comparaison Réseau HQ et Eolienne 10 kW

A: **Réseau HQ**
B: **Éolienne 10 kW**

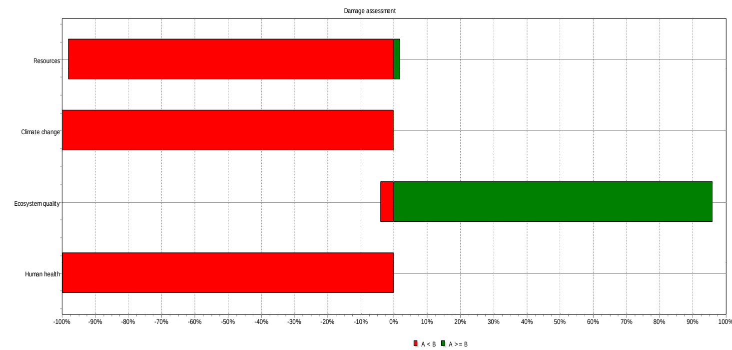
Légende:
- Aucune inversion possible
- Inversion possible, mais faible probabilité (< 15%)
- Inversion possible, probabilité élevée (> ou = 15%)

Number of runs performed	1000
Total calculation time	10:47:00.987:062
Part of values that contain uncertainty data	68,90%
Distribution	Count
Total	60307
Undefined	18742 (31.1%)
Lognormal	41542 (68.9%)
Normal	7 (0.0116%)
Triangle	8 (0.0133%)
Uniform	8 (0.0133%)



Uncertainty analysis of 1 kWh 'Electricity, low voltage, at grid - Qc U_modif pertes, 2011' (A) minus
1 kWh 'S34-P1 Condition moyenne Électricité, turbine éolienne 10kW' (B),

Method: IMPACT 2002+ (autoprod) V2.05 / IMPACT 2002+ , confidence interval: 95 %



Uncertainty analysis of 1 kWh 'Electricity, low voltage, at grid - Qc U_modif pertes, 2011' (A) minus
1 kWh 'S34-P1 Condition moyenne Électricité, turbine éolienne 10kW' (B),

Method: IMPACT 2002+ (autoprod) V2.05 / IMPACT 2002+ , confidence interval: 95 %

Impact category	A >= B	Mean	Median	SD	CV (Coefficien	2,50%	97,50%	Std.err.of mean
Aquatic acidification	0,00%	-3,99E-04	-3,64E-04	1,94E-04	-49%	-0,000865	-1,43E-04	-0,0154
Aquatic ecotoxicity	100%	16,3	15,2	7,19	44,10%	5,93	34,5	0,0139
Aquatic eutrophication	0,00%	-3,43E-06	-3,09E-06	1,61E-06	-46,80%	-7,63E-06	-1,40E-06	-0,0148
Carcinogens	0,20%	-0,0011	-0,00108	0,000294	-26,80%	-0,0017	-0,00052	-0,00848
Global warming	0,00%	-0,0628	-0,0584	0,0247	-39%	-0,124	-0,0266	-0,0124
Ionizing radiation	100%	2,09	1,23	2,57	123%	0,223	10,4	0,0389
Land occupation	0,00%	-0,00126	-0,0012	0,000348	-28%	-0,00212	-0,00079	-0,00871
Mineral extraction	0%	-0,00671	-0,00672	0,000997	-14,90%	-0,00868	-0,00458	-0,0047
Non-carcinogens	36,20%	-7,19E-05	-0,000275	0,00151	-2,10E+01	-0,00183	0,00296	-0,664
Non-renewable energy	1,90%	-0,783	-0,715	0,447	-57%	-1,81	-0,0481	-0,0181
Ozone layer depletion	0,00%	-7,92E-09	-6,85E-09	4,86E-09	-61%	-2,03E-08	-1,59E-09	-0,0194
Respiratory inorganics	0,00%	-8,95E-05	-8,11E-05	4,19E-05	-46,80%	-1,89E-04	-3,17E-05	-0,0148
Respiratory organics	0,00%	-5,27E-05	-4,77E-05	2,18E-05	-41,40%	-1,09E-04	-2,29E-05	-0,0131
Terrestrial acid/nutri	0%	-0,00279	-0,0025	0,00136	-49%	-0,00609	-1,10E-03	-0,0154
Terrestrial ecotoxicity	98%	6,71	6,3	4,07	60,70%	0,0592	15,9	0,0192

Confidence interval: 95

Damage category	A >= B	Mean	Median	SD	CV (Coefficien	2,50%	97,50%	Std.err.of mean
Climate change	0,00%	-0,0628	-0,0584	0,0247	-39%	-0,124	-0,0266	-0,0124
Ecosystem quality	96%	0,0496	0,0462	0,0331	66,80%	-0,00477	0,124	0,0211
Human health	0,10%	-6,56E-08	-6,00E-08	3,11E-08	-47,30%	-1,37E-07	-1,98E-08	-0,015
Resources	1,90%	-0,789	-0,721	0,448	-57%	-1,82	-0,0545	-0,0179

Confidence interv 95

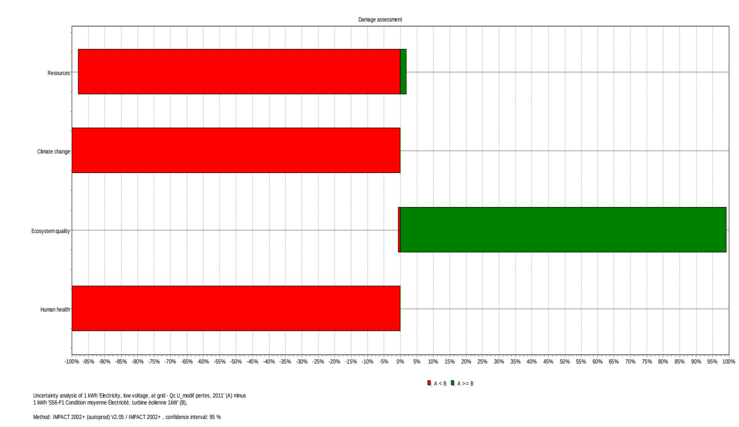
Analyse Monte Carlo - Comparaison Réseau HQ et Eolienne 1 kW

A: **Réseau HQ**
B: **Éolienne 1 kW**

Légende:
- Aucune inversion possible
- Inversion possible, mais faible probabilité (< ou =15%) - par rapport aux résultats déterministes des ongles précédents
- Inversion possible, probabilité élevée (> 15%) - par rapport aux résultats déterministes des ongles précédents

Number of runs performed	750
Total calculation time	08:05:18.617:296
Part of values that contain uncertainty data	68,90%
Distribution	Count
Total	60237
Undefined	18741 (31.1%)
Lognormal	41473 (68.8%)
Normal	7 (0.0116%)
Triangle	8 (0.0133%)
Uniform	8 (0.0133%)





Impact category	A >= B	Mean	Median	SD	CV (Coefficien	2,50%	97,50%	Std.err.of mean
Aquatic acidification	0,00%	-3,18E-04	-3,00E-04	1,10E-04	-35%	-0,000578	-1,47E-04	-0,0127
Aquatic ecotoxicity	100%	16,7	15,5	7,6	45,50%	6,15	36,4	0,0166
Aquatic eutrophication	0,00%	-2,97E-06	-2,81E-06	1,01E-06	-33,90%	-5,21E-06	-1,54E-06	-0,0124
Carcinogens	0,13%	-0,00106	-0,00105	0,000248	-23,50%	-0,00159	-0,000595	-0,00857
Global warming	0,00%	-0,0461	-0,0443	0,0148	-32%	-0,0808	-0,0234	-0,0117
Ionizing radiation	100%	2,39	1,33	4,58	191%	0,23	10,3	0,0699
Land occupation	0,00%	-0,000677	-0,000638	0,000232	-34%	-0,00122	-0,00031	-0,0125
Mineral extraction	0%	-0,00673	-0,00673	0,00101	-14,90%	-0,00875	-0,00475	-0,00545
Non-carcinogens	46,90%	1,24E-04	-6,03E-05	0,00117	946%	-0,00133	0,00298	0,345
Non-renewable energy	2,00%	-0,555	-0,525	0,289	-52%	-1,22	-0,0391	-0,019
Ozone layer depletion	0,67%	-5,63E-09	-5,08E-09	3,23E-09	-57%	-1,27E-08	-1,05E-09	-0,0209
Respiratory inorganics	0,00%	-7,86E-05	-7,54E-05	2,46E-05	-31,30%	-1,37E-04	-3,96E-05	-0,0114
Respiratory organics	0,00%	-4,31E-05	-4,09E-05	1,26E-05	-29,30%	-7,41E-05	-2,53E-05	-0,0107
Terrestrial acid/nutri	0%	-0,00225	-0,0021	0,000725	-32%	-0,004	-1,24E-03	-0,0118
Terrestrial ecotoxicity	100%	7,44	6,82	4	53,70%	1,41	18,4	0,0196

Confidence interval: 95

Damage categ	A >= B	Mean	Median	SD	CV (Coefficien	2,50%	97,50%	Std.err.of mean
Climate chang	0,00%	-0,0461	-0,0443	0,0148	-32%	-0,0808	-0,0234	-0,0117
Ecosystem qu	99%	0,0566	0,0518	0,0323	57,10%	0,00756	0,145	0,0208
Human health	0,00%	-5,72E-08	-5,56E-08	1,88E-08	-32,80%	-1,01E-07	-2,52E-08	-0,012
Resources	1,87%	-0,562	-0,532	0,289	-52%	-1,23	-0,0456	-0,0188

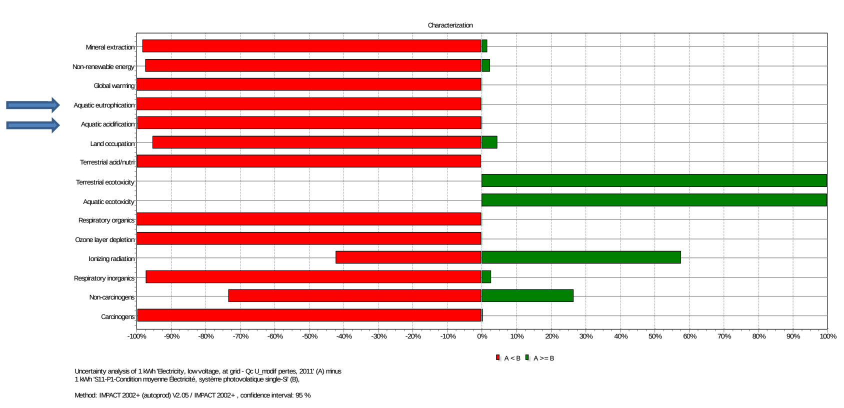
Confidence in 95

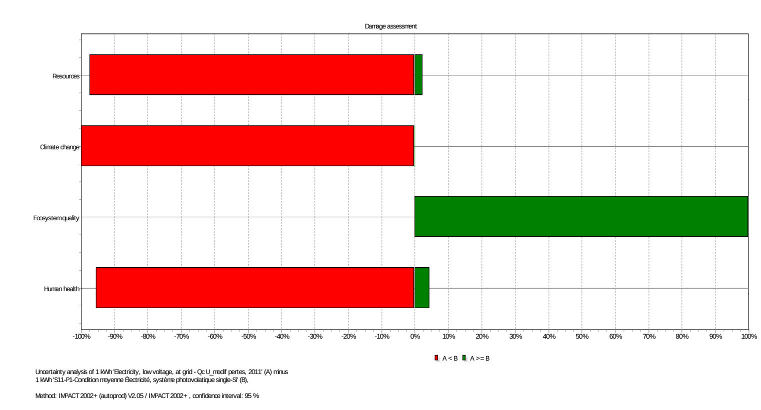
Analyse Monte Carlo - Comparaison Réseau HQ et Panneaux photovoltaïques monocristallins

A: **Réseau HQ**
B: **Système photovoltaïque monocristallin**

Légende:
Aucune inversion possible
Inversion possible, mais faible probabilité (< ou =15%) - par rapport aux résultats déterministes des ongles précédents
Inversion possible, probabilité élevée (> 15%) - par rapport aux résultats déterministes des ongles précédents

Number of runs performed	750
Total calculation time	17:04:56,656:262
Part of values that contain uncertainty data	70,40%
Distribution	Count
Total	124738
Undefined	36969 (29,6%)
Lognormal	87741 (70,3%)
Normal	12 (0,00962%)
Triangle	8 (0,00641%)
Uniform	8 (0,00641%)





Impact category	A >= B	Mean	Median	SD	CV (Coefficien	2,50%	97,50%	Std.err.of mean
Aquatic acidification	0,27%	-0,000143	-0,000143	4,80E-05	-33,70%	-0,00024	-4,59E-05	-0,0123
Aquatic ecotoxicity	100%	16,5	15,4	7,19	43,40%	5,48	34,6	0,0159
Aquatic eutrophication	0%	-3,94E-06	-3,89E-06	7,98E-07	-20,30%	-5,80E-06	-2,71E-06	-0,0074
Carcinogens	0,40%	-0,000711	-0,000697	0,000202	-28,40%	-0,00113	-0,000331	-0,0104
Global warming	0%	-0,0329	-0,0329	0,00908	-27,60%	-0,0527	-0,0144	-0,0101
Ionizing radiation	57,70%	0,899	0,246	4,2	467%	-4,05	10,5	0,17
Land occupation	4,67%	-0,000172	-0,00018	0,000105	-61%	-0,000352	4,09E-05	-0,0223
Mineral extraction	1,73%	-0,00187	-0,00189	0,000854	-45,70%	-0,00358	-9,30E-05	-0,0167
Non-carcinogens	26,70%	-0,000348	-0,000457	0,000951	-274%	-0,0018	0,00181	-0,0999
Non-renewable energy	2,53%	-0,471	-0,491	0,242	-51,30%	-0,892	0,00644	-0,0187
Ozone layer depletion	0%	-9,00E-09	-8,89E-09	2,05E-09	-22,70%	-1,35E-08	-5,18E-09	-0,00831
Respiratory inorganics	2,80%	-1,89E-05	-1,91E-05	9,46E-06	-50,10%	-3,75E-05	6,72E-07	-0,0183
Respiratory organics	0%	-3,39E-05	-3,34E-05	6,72E-06	-19,80%	-4,93E-05	-2,28E-05	-0,00724
Terrestrial acid/nutri	0,13%	-0,000569	-0,000567	0,000164	-28,80%	-0,000908	-0,000247	-0,0105
Terrestrial ecotoxicity	100%	9,03	8,52	3,67	40,60%	3,59	18,4	0,0148

Confidence interval: 95

Damage category	A >= B	Mean	Median	SD	CV (Coefficien	2,50%	97,50%	Std.err.of mean
Climate change	0%	-0,0329	-0,0329	0,00908	-27,60%	-0,0527	-0,0144	-0,0101
Ecosystem quality	100%	0,0715	0,0673	0,0295	41,30%	0,0277	0,147	0,0151
Human health	4,53%	-1,61E-08	-1,67E-08	8,89E-09	-55,30%	-3,20E-08	3,30E-09	-0,0202
Resources	2,53%	-0,473	-0,493	0,242	-51,20%	-0,895	0,00513	-0,0187

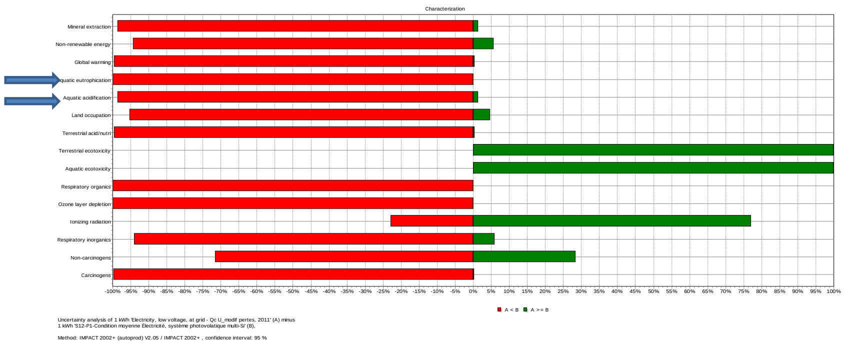
Confidence interval: 95

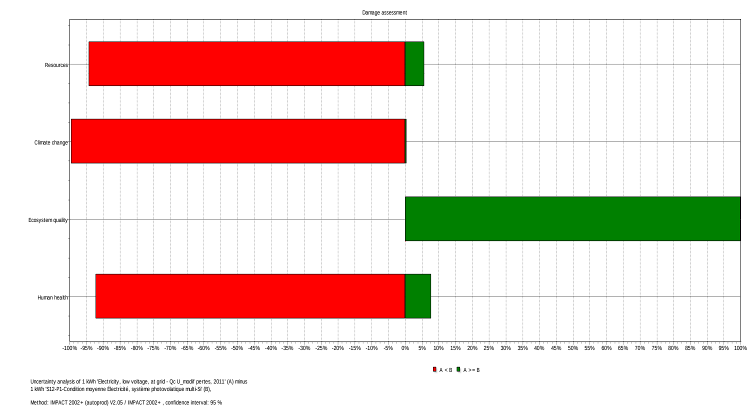
Analyse Monte Carlo - Comparaison Réseau HQ et Panneaux photovoltaïques polycristallins

A: **Réseau HQ**
B: **Système photovoltaïque monocristallin**

Légende:
- Aucune inversion possible
- Inversion possible, mais faible probabilité (< ou =15%) - par rapport aux résultats déterministes des ongles précédents
- Inversion possible, probabilité élevée (> 15%) - par rapport aux résultats déterministes des ongles précédents

Number of runs performed	750
Total calculation time	13:34:53.056:621
Part of values that contain uncertainty data	70,40%
Distribution	Count
Total	124739
Undefined	36970 (29.6%)
Lognormal	87741 (70.3%)
Normal	12 (0.00962%)
Triangle	8 (0.00641%)
Uniform	8 (0.00641%)





Impact category	A >= B	Mean	Median	SD	CV (Coefficien	2,50%	97,50%	Std.err.of mean
Aquatic acidification	1,33%	-0,000118	-0,000123	4,51E-05	-38,20%	-0,000196	-1,87E-05	-0,0139
Aquatic ecotoxicity	100%	16,1	15,1	6,62	41,20%	5,77	32,1	0,015
Aquatic eutrophication	0%	-3,41E-06	-3,37E-06	6,22E-07	-18,20%	-4,77E-06	-2,34E-06	-0,00665
Carcinogens	0,27%	-0,000726	-0,000715	0,000221	-30,50%	-0,00119	-0,000332	-0,0111
Global warming	0,40%	-0,0274	-0,0278	0,00864	-31,50%	-0,044	-0,00792	-0,0115
Ionizing radiation	77,10%	1,41	0,669	3,73	264%	-1,79	8,81	0,0964
Land occupation	4,67%	-0,000175	-0,000179	9,91E-05	-56,70%	-0,000354	3,19E-05	-0,0207
Mineral extraction	1,33%	-0,00207	-0,00206	0,000928	-44,90%	-0,00394	-0,000354	-0,0164
Non-carcinogens	28,40%	-0,000257	-0,000425	0,00116	-451%	-0,00164	0,00221	-0,165
Non-renewable energy	5,73%	-0,353	-0,365	0,216	-61,30%	-0,723	0,118	-0,0224
Ozone layer depletion	0%	-9,33E-09	-9,18E-09	2,14E-09	-23%	-1,39E-08	-5,68E-09	-0,00839
Respiratory inorganics	6%	-1,55E-05	-1,66E-05	9,21E-06	-59,50%	-3,11E-05	5,73E-06	-0,0217
Respiratory organics	0%	-3,53E-05	-3,46E-05	7,28E-06	-20,60%	-5,17E-05	-2,26E-05	-0,00752
Terrestrial acid/nutri	0,40%	-0,000514	-0,00053	0,000161	-31,30%	-0,000805	-0,000166	-0,0114
Terrestrial ecotoxicity	100%	8,93	8,43	3,42	38,30%	3,83	17,1	0,014

Confidence interval: 95

Damage category	A >= B	Mean	Median	SD	CV (Coefficien	2,50%	97,50%	Std.err.of mean
Climate change	0,40%	-0,0274	-0,0278	0,00864	-31,50%	-0,044	-0,00792	-0,0115
Ecosystem quality	100%	0,0707	0,0667	0,0275	38,90%	0,0295	0,136	0,0142
Human health	7,73%	-1,34E-08	-1,45E-08	9,10E-09	-68%	-2,79E-08	6,03E-09	-0,0248
Resources	5,73%	-0,355	-0,368	0,217	-61,10%	-0,728	0,119	-0,0223

Confidence interval: 95

Annexe F :
Revue critique

Cette annexe inclut :

- Le premier rapport de revue critique
- Le document de réponse au réviseur
- Le rapport de revue final

DESSAU

Le 7 janvier 2013

Monsieur Christian Turpin
Conseiller- Performance environnementale- Chimie Environnement et développement durable Hydro-Québec
75, boulevard René-Lévesque Ouest
Montréal (Québec) H2Z 1A4

Objet: Revue critique par un comité d'experts indépendants d'une étude ACV de filières de production décentralisée d'énergie électrique à petite échelle
O/Ref.: 068-B-0004302-001-EN-R-0001-00

Cher monsieur Turpin,

Le comité de revue critique que je préside a complété la revue de l'étude ACV que vous avez demandé au CIRAIG de produire pour le compte d'Hydro-Québec. La revue critique d'une étude ACV est un exercice ayant pour objectif d'assurer que l'étude et son rapport répondent aux exigences de la norme ISO 14044. Notre travail ne consiste pas à approuver ou non la divulgation de l'étude à un public externe. Cette décision revient aux mandataires de l'étude.

Vous trouverez dans le document joint à cette lettre des commentaires généraux de même que des commentaires plus spécifiques. Les commentaires sont codifiés selon que des corrections sont requises, recommandées ou suggérées et que ces corrections ont une incidence directe, indirecte ou aucune incidence sur la conformité de l'étude à la norme ISO 14044.

Trois points majeurs ressortent des commentaires du comité de revue critique. Premièrement, bien que l'étude soit présentée comme une comparaison entre cinq systèmes de production décentralisée d'électricité, ces systèmes sont comparés à la production d'électricité sur le réseau d'Hydro-Québec. Or cette dernière forme de production d'électricité n'est pas suffisamment détaillée et est exclue de la présentation des frontières de l'étude. Étant donné que plusieurs conclusions sont en faveur de ce mode global de production d'électricité et que peu de détails sont fournis, le comité ne peut juger de l'équivalence fonctionnelle entre les systèmes. Le comité considère que ce mode global de production d'électricité devrait faire partie de l'étude au même titre que les autres systèmes.

Le deuxième point qui ressort de la revue de l'étude est le manque de rigueur quant à la possibilité de tirer des conclusions avec les résultats obtenus. En raison des incertitudes entourant les modèles utilisés pour interpréter les données d'inventaire en impacts, les auteurs de l'étude disent que malgré des résultats plus faibles (impacts moindres) pour les cinq systèmes de production décentralisée pour l'indicateur de dommage sur la qualité des écosystèmes par rapport au kWh produit par le réseau, il n'est pas possible de conclure en faveur de ces systèmes à petite échelle pour cet indicateur. Par contre, les auteurs tirent la conclusion que « le kWh produit par le réseau d'Hydro-Québec présente des impacts environnementaux potentiels inférieurs à ceux des technologies de production décentralisée d'énergie

T 514.281.1010
F 514.798.8790
montreal@dessau.com
1080 côte du Beaver Hall
Bureau 300, Montréal (Québec)
Canada H2Z 1S8

électrique étudiées ». S'il n'est pas possible de conclure en faveur des technologies décentralisées pour un indicateur en raison de l'incertitude sur les résultats, il n'est pas possible alors d'affirmer le contraire avec une certitude. Le comité considère qu'une telle affirmation, faite à plusieurs reprises et sous différentes formulations tout au long de l'étude, pourrait faire en sorte que l'étude soit perçue comme ayant un parti pris en faveur de la production d'électricité sur le réseau d'Hydro-Québec. Nous considérons qu'il est nécessaire que les interprétations de l'étude soient plus nuancées et que les conclusions soient revues afin d'éviter une telle situation.

Finalement, considérant qu'un des objectifs de l'étude est d'identifier les paramètres clés des systèmes de production décentralisée d'énergie électrique, et ce, dans l'idée notamment de cerner des pistes d'amélioration pour l'option de mesurage net pour autoproducteurs, le comité juge que les principaux contributeurs (processus) des différents impacts ne sont pas suffisamment détaillés.

Compte tenu de ces points et des autres présentés dans le document ci-joint, le comité de revue critique juge que l'étude dans sa première version ne répond pas aux exigences de la norme ISO 14044. Le manque de détails sur le réseau de production d'électricité d'Hydro-Québec et les conclusions pouvant donner l'apparence d'un biais en faveur de ce mode de production font en sorte que les corrections sont considérées comme étant majeures. Néanmoins, le comité est confiant qu'il est possible de répondre de manière satisfaisante à ces commentaires, ce qui rendrait l'étude conforme à cette norme.

C'est donc dans l'idée de relire une version modifiée de l'étude ACV que le comité vous invite à prendre en considération ces commentaires et à en discuter avec les auteurs de l'étude afin d'apporter les corrections et justifications requises. À titre de président du comité de revue critique, je reste à votre entière disposition pour discuter des commentaires contenus dans ce document.

J'espère le tout à votre satisfaction.

Gontran Bage, ing., Ph.D.
Chargé de projet- Expert en analyse du cycle de vie

RÉSUMÉ DE LA DÉCISION DU COMITÉ

TITRE DE L'ÉTUDE RÉVISÉE	Analyse du cycle de vie de filières de production décentralisée d'énergie électrique à petite échelle	
DATE DU RAPPORT	Septembre 2012	
AUTEUR DE L'ÉTUDE	CIRAIG	
COMMANDITAIRE	Hydro-Québec	
DATE DE LA REVUE CRITIQUE	Décembre 2012	
DÉCISION DU COMITÉ DE REVUE CRITIQUE	☐	Étude est conforme aux exigences de la norme ISO 14044
	☐	Étude requiert des corrections mineures conformément aux exigences de la norme ISO 14044
	☒	Étude requiert des corrections majeures conformément aux exigences de la norme ISO 14044

COMPOSITION DU COMITÉ DE REVUE CRITIQUE

PRÉSIDENT DU COMITÉ DE REVUE CRITIQUE	**GONTRAN BAGE, ING., PH.D.** **CONSEILLER EN DÉVELOPPEMENT DURABLE**
RÉVISEURS	Antoine Lacroix, ing., M.Sc. CanmetÉnergie- Ressources naturelles Canada Yves Poissant, Ph.D. CanmetÉnergie- Ressources naturelles Canada

Conformément à la section 6.3 de la norme ISO 14044, une étude doit faire l'objet d'une revue critique par un comité des parties prenantes si les résultats de l'étude peuvent être utilisés en support à une affirmation comparative destinée à être divulguée au public. Dans ce contexte, le travail des réviseurs est de s'assurer que l'étude est transparente et cohérente, que les données utilisées sont appropriées et en relation avec les objectifs de l'étude, que l'interprétation des résultats est en accord avec ces objectifs, que l'interprétation des résultats reflète les limites de l'étude telles qu'identifiées par ses auteurs, et que les méthodes employées par les auteurs de l'étude sont scientifiquement valables, adéquates par rapport aux objectifs de l'étude et en accord avec la norme ISO 14044. Il est important de rappeler qu'une décision du comité quant au respect par l'étude des exigences de la norme ISO 14044 ne signifie pas que le comité endosse la divulgation des résultats. Une telle divulgation reste sous la décision et la responsabilité des propriétaires de l'étude.

1 CODIFICATION DES COMMENTAIRES

Afin de guider les auteurs de l'étude dans les corrections à apporter à l'étude selon les commentaires des réviseurs, ces commentaires ont été codifiés selon la légende suivante :

- une correction, une modification, une adaptation ou une justification est obligatoire, cet aspect de l'étude a une incidence sur la conformité de l'étude à la norme ISO 14044 et sur les résultats de l'étude ;
- une correction, une modification, une adaptation ou une justification est recommandée, cet aspect peut avoir une incidence indirecte sur la conformité de l'étude à la norme ISO 14044 et pourrait influencer les résultats de l'étude ;
- une correction, une modification, une adaptation ou une justification est suggérée mais non obligatoire, cet aspect n'a pas ou peu d'incidence sur la conformité de l'étude à la norme ISO 14044 et ne devrait pas influencer les résultats de l'étude.

2 COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

1. Bien que cette étude porte sur différentes filières de production décentralisée d'énergie électrique à petite échelle, ces dernières sont toutes comparées à la production et distribution d'électricité sur le réseau global d'Hydro-Québec. Toutefois, aucune information n'est présentée dans l'étude sur ce mode de production électrique. La Tableau 2-3 donne la proportion de chaque mode de génération électrique pour le Québec et l'annexe D donne les résultats pour 1 kW d'énergie, mais aucune information n'est donnée sur ce qui est inclus et les frontières du système de production et de distribution d'électricité sur le réseau d'Hydro-Québec.

   La comparaison d'un scénario aux autres et l'importance qu'à ce scénario sur les conclusions de l'étude font en sorte que ce système de production et de distribution de l'électricité devrait faire partie intégrante de l'étude et des scénarios présentés et développés au même titre que les trois scénarios d'éoliennes et les deux scénarios de panneaux solaires photovoltaïques.

2. De toutes les phases du cycle de vie des systèmes à l'étude, celle de production est de loin la plus importante. Les processus d'arrière-plan dans cette phase ont été modélisés en utilisant le grid mix nord-américain pour la génération de l'électricité. Or, il s'avère que différentes composantes, dont certaines pour les panneaux solaires photovoltaïques sont produits en Ontario où le grid mix est différent de celui de l'Amérique du Nord.

   Il serait pertinent de réaliser des analyses de sensibilité sur la composition du grid mix afin

de déterminer si des composantes produites dans certaines régions de l'Amérique du Nord ne pourraient pas être bénéfiques aux modes de production décentralisée d'énergie électrique énergétique à petite échelle.

3. L'interprétation des résultats doit être nuancée afin d'éviter de donner l'impression d'un biais en faveur du kWh produit par le réseau d'Hydro-Québec.

   En effet, en raison des incertitudes entourant les modèles utilisés pour interpréter les données d'inventaire en impacts, les auteurs de l'étude disent que malgré des résultats plus faibles (impacts moindres) pour les cinq systèmes de production décentralisée pour l'indicateur de dommage sur la qualité des écosystèmes par rapport au kWh produit par le réseau, il n'est pas possible de conclure en faveur de ces systèmes à petite échelle pour cet indicateur. Par contre, l'encadré résumant la comparaison des systèmes, le sommaire et la conclusion de l'étude affirme que « le kWh produit par le réseau offre une performance environnementale supérieure à celle des technologies de production décentralisée d'énergie électrique étudiées » et « le kWh produit par le réseau d'Hydro-Québec présente des impacts environnementaux potentiels inférieurs à ceux des technologies de production décentralisée d'énergie électrique étudiées ». S'il n'est pas possible de conclure en faveur des technologies décentralisées pour un indicateur en raison de l'incertitude sur les résultats, il n'est pas possible alors d'affirmer le contraire avec une certitude.

   Un tel nuancement doit être fait tout au long du rapport lors de la présentation des résultats et dans l'interprétation de ces derniers.

4. Dans l'interprétation des profils des systèmes éoliens et des panneaux solaires photovoltaïques, il aurait été pertinent pour l'utilisateur de l'étude de voir un éclatement des résultats entre les différentes composantes dans la phase de production. Sans cette information, qui se retrouve en partie dans l'annexe E mais pas encore assez détaillée, l'utilisateur ne peut savoir quelles composantes devraient faire l'objet d'une amélioration d'un point de vue environnementale afin de réduire l'impact global de ce mode de production d'énergie électrique.

   Le premier objectif spécifique de cette étude est d'identifier les paramètres clés des systèmes de production décentralisée d'énergie électrique. Le manque de détails sur les composantes importantes dans chacune des phases du cycle de vie ne permet pas d'identifier de manière pertinente ces paramètres clés.

5. Pour les systèmes à panneaux solaires photovoltaïques, le potentiel solaire utilisé est de 1 230 kWh/m^2*année (3,37 kWh/m^2*jour), soit pour la localité de La Tuque et des panneaux installés à l'horizontale. Les modules sont habituellement installés non pas à l'horizontale mais à un angle correspondant à la latitude du lieu d'utilisation. Il aurait été plus juste de

considérer un potentiel solaire de 4,2 kWh/m^2*jour (1 533 kWh/m^2*année) pour des panneaux orientés vers le sud et inclinés à une latitude de 15o. De plus, bien que le facteur de performance recommandé par ecoinvent soit dans une plage acceptable de 60 % à 90 %, il se situe dans le haut de cette plage. Une valeur de 75 % serait plus juste. Ainsi, pour un système de 3 kWp, la production totale annuelle serait de 3 450 kWh et non pas 3 153 kWh. Ceci impliquerait que le flux de référence serait de 9,66x10^{-6} plutôt que de 1,05x10^{-5}.

3 COMMENTAIRES SPÉCIFIQUES

Page v : Les technologies sont dites à petite échelle car elles fournissent moins de 50 kW ou 438 000 kWh/an. Il y aurait lieu de spécifier ce que cette conversion sur la production annuelle représente un cas de figure théorique d'une production efficace à 100 % durant toute l'année.

Page v : Il manque un zéro (0) à la production moyenne d'énergie pour les éoliennes de 30 kW. Il faudrait lire 52 560 kWh/an et non 5 256 kWh/an. Une validation qu'il s'agit ici d'une erreur de frappe dans le rapport et non dans la modélisation est requise.

Page vii : Nuancer la conclusion sur les impacts environnementaux potentiels inférieurs pour le kWh produit par le réseau d'Hydro-Québec.

Page xii : Mettre en indice les nombres 2 et 4 dans CO_2, PO_4 et SO_2.

Page 5 : Selon la définition donnée d'un onduleur en page 5, « *transformer la tension continue fournie par les panneaux solaires et les éoliennes de petite puissance en courant alternatif* », le premier des deux types d'onduleur présentés en page 6 ne serait pas un onduleur car il fonctionne de continu à continu. Seul le deuxième onduleur respecte la définition donnée. Comme le premier type d'onduleur n'est pas concerné dans cette étude, il n'est pas nécessaire de le présenter.

Page 7 : La durée de vie de 20 ans pour les éoliennes de 1 kW et de 10 kW est optimiste. Il y a lieu de mieux justifier cette hypothèse ou encore de faire une analyse de sensibilité sur la durée de vie des éoliennes afin d'identifier une durée de vie charnière qui permettrait de présenter des bénéfices environnementaux par rapport aux autres systèmes décentralisés et au kWh produit par le réseau d'Hydro-Québec.

Page 7 : Un vent de 5,6 km/h est relativement faible pour justifier l'utilisation d'une éolienne de 30 kW. Comme il s'agit d'une hypothèse, il y aurait lieu de mentionner qu'une étude de sensibilité a été réalisée sur les conditions d'utilisation des éoliennes, notamment la vitesse des vents.

Page 8 : Dans la description des systèmes et la définition des frontières de ces derniers, il serait nécessaire de faire ressortir le fait que la distribution de l'électricité, et donc les pertes associées au transport de l'énergie, n'est pas considérée dans l'étude, notamment parce que les lieux de production sont à toutes fins pratiques sur les lieux d'utilisation contrairement à l'énergie produite par Hydro-Québec.

Page 18 : Le choix des plages de production électrique moyenne pour les systèmes éoliens

nécessite d'être justifié. Pour les puissances de 1 kW et de 10 kW, les bornes maximales des plages représentent respectivement des efficacités de 68,5 % et de 62,8 %, ce qui est très élevé, voire impossible pour de tels systèmes.

Page 18 : L'analyse de sensibilité qui est faite en excluant les étapes de transport et de distribution pour le kWh produit par le réseau d'Hydro-Québec doit être justifiée. L'analyse fait une comparaison entre des systèmes qui ne répondent plus à la même fonction. Bien que l'objectif soit évoqué, soit de «*comparer l'impact environnemental potentiel de la production énergétique d'Hydro-Québec à celle des systèmes de production décentralisée* », il s'agit d'une analyse qui ne respecte pas la fonction que doivent remplir les systèmes. Les auteurs sont invités à revoir la pertinence de cette analyse de sensibilité et la manière de la présenter pour éviter de donner l'impression d'un biais en faveur d'un système.

Page 23 : Pour l'étape de production, les auteurs affirment que la production des parties mobiles et la production des parties fixes se partagent les impacts potentiels. Il y aurait lieu ici de donner le ratio de ce partage afin d'éviter l'interprétation d'un partage 50/50 entre les deux types de parties.

Page 23 : L'étape de distribution est la deuxième plus importante et elle repose sur une hypothèse d'une distance de transport de 1 500 km, ceci équivaut pratiquement à la distance entre Toronto et Sept-Îles. En raison de l'importance de cette phase et, notamment du fait que 80 % des impacts pour l'indicateur ressources proviennent de la production du diesel, il serait nécessaire de faire une analyse de sensibilité sur ce paramètre afin d'identifier la distance charnière à partir de laquelle la production d'une composante est dans un rayon par rapport au point d'utilisation qui est favorable pour le système de production décentralisée d'énergie.

Page 23 : Expliquer pourquoi en termes de proportion la phase d'utilisation dans le système d'éolienne de 10 kW est plus petite que dans les deux autres systèmes d'éolienne qui sont de puissance plus petite (1 kW) et plus grande (30 kW).

Page 23: Il y aurait lieu de faire ressortir la relation entre la puissance d'une éolienne et la proportion que représente la phase de production dans le cycle de vie de l'équipement..

Page 27 : Revoir la formulation de l'affirmation du troisième point. Il est difficile d'affirme que « *tous les systèmes de production d'énergie renouvelable présentent des impacts potentiels plus importants ...* » et d'ajouter par la suite « *à quelques exceptions* près». Ceci pourrait donner une impression de biais en faveur de l'approvisionnement électrique du réseau d'Hydro-Québec en utilisant une affirmation forte qui doit être nuancée par la suite. Des six indicateurs d'impacts

(impacts et dommages combinés), deux indicateurs, soit le tiers, ne permettent pas de supporter cette affirmation.

Page 29 : Le Tableau 3-1 devrait être scindé en deux tableaux, un présentant l'interprétation qui peut être faite des résultats en raison des incertitudes sur les modèles et le second en raison des inversions possibles dans les conclusions par les incertitudes sur les données. Présenter de la manière actuelle, les pourcentages dans le tableau ne font référence uniquement à l'écart entre l'impact de l'énergie du réseau et celle d'un des systèmes décentralisés mais l'interprétation des cellules ombragées fait également appel à l'incertitude sur les données. Il manque une étape d'interprétation des résultats des analyses pour le lecteur.

Page 29 : Pour le troisième point de l'encadré « Globalement, on retient : », il est suggéré de nuancer l'impossibilité de conclure en faveur d'un des cinq systèmes de production décentralisée en précisant que la préférence d'un système par rapport aux autres dépend alors de l'importance qu'accorde le décideur aux différentes catégories d'impacts et de dommage. Il est accepté que les auteurs de l'étude ne poussent pas le processus d'agrégation des dommages en un score unique, mais il faut rappeler au lecteur qu'il peut faire cet exercice et alors identifier un système qui prédomine sur les autres d'un point de vue environnemental.

Page 30 : « *... (auprès des producteurs et fournisseurs de systèmes de production **d'énergie thermique** décentralisée à petite échelle) ...* »

Page 30 : « *... la revue critique par des spécialistes du domaine pourra très certainement améliorer la qualité de l'étude* ». Cette phrase est à retirer du rapport final après la revue critique.

Page 31 : L'analyse de sensibilité avec la méthode d'évaluation des impacts ReCiPe n'est pas suffisamment exploitée. En effet, au Tableau 3-2, les auteurs indiquent que la méthode ReCiPe favorise le système éolien de 30 kW au réseau d'Hydro-Québec pour l'indicateur Toxicité humaine alors que IMPACT 2002+ favorise le réseau d'Hydro-Québec. Malgré cela, les auteurs indiquent en page 30 que les « les résultats obtenus par la méthode ReCiPe (H) confirment ceux obtenus avec la méthode IMPACT 2002+ ». Or en l'annexe E, la combinaison des indicateurs d'impacts en trois catégories *Santé humaine, Qualité des écosystèmes* et *Ressources* donne un écart inférieur à 10 % en faveur du réseau pour la *Santé humaine,* un écart inférieur à 8 % en faveur de l'éolien 30 kW pour la *Qualité des écosystèmes* et un écart de plus de 90 % en faveur du réseau pour les *Ressources.*

Avec la méthode IMPACT 2002+ (en se référent à la Figure 3-6 et à l'annexe E),

l'écart est de 92 % en faveur du réseau pour la Santé humaine, l'écart est de 77 % en faveur de l'éolien 30 kW pour la Qualité des écosystèmes et l'écart n'est que de 17 % en faveur du réseau pour les Ressources.

Entre les deux méthodes d'impacts, il y a des inversions dans les préférences entre le kWh produit par le réseau et le système éolien 30 kW et des différences significatives dans la dominance d'un système par rapport à un autre.

Les auteurs sont invités à revoir les différences entre les méthodes et, le cas échéant, à revoir la conclusion globale de l'étude sur la dominance du kWh produit par le réseau d'Hydro-Québec. Contenu de la sensibilité qui semble y avoir dans les résultats selon la méthode d'impacts considérée, il se pourrait qu'il ne soit pas possible d'établir une préférence entre ces deux systèmes.

Page 32 : L'utilisation de graphiques, qui sont toutefois en annexe, serait utile et parlant pour le lecteur dans la présentation des résultats et des tendances pour l'analyse de sensibilité sur le rendement annuel moyen des différents systèmes.

Page 33 : Tel que mentionné précédemment, il faut revoir la pertinence de présenter ce résultat étant donné que l'on fait une comparaison entre des systèmes ne répondant plus à la même fonction.

Page 33 : Des systèmes de panneaux solaires photovoltaïques peuvent être conçus de manière à ce qu'ils suivent le soleil (ex. installation en milieu agricole en Ontario). Ceci permet d'accroître la production de 20 à 40 %. Il y aurait lieu de prendre un tel concept en considération pour les augmentations nécessaires de productions présentées à la page 33.

Page 34 : Les tendances présentées dans les comparaisons aux autres modes de production d'électricité différèrent significativement des résultats d'une étude produite par le CIRAIG pour le compte de Environnement Canada (*Analyse du cycle de vie des technologies photovoltaïques au Canada*). Les auteurs devraient s'assurer d'une cohérence entre les deux études ou d'en expliquer les divergences.

Page 35 : Le deuxième point des limites de l'étude mentionne qu'il « *s'avère difficile de conclure quant à la complétude de la donnée construite pour modéliser les impacts de certaines composantes des systèmes solaires et éoliens* ». Il y aurait intérêt à préciser de quelles composantes il s'agit.

Page 36 : Au deuxième point des recommandations, il faudrait nuancer que la conclusion en faveur d'un système de production décentralisée par rapport aux autres dépend de l'importance qu'accorde le décideur à chacune des catégories de dommages.

Page 36 : Au troisième point des recommandations, il faudrait nuancer par rapport à

l'impossibilité de conclure ni en faveur du kWh produit par le réseau d'Hydro-Québec ni en faveur du système éolien 30 kW pour la qualité des écosystèmes en raison des incertitudes dans les modèles d'impacts et donc que ceci ne permet pas de dire hors de tout doute que le kWh produit par le réseau d'Hydro-Québec offre une performance environnementale supérieure.

Page 38 : Au premier point des conclusions, il faudrait nuancer par rapport à l'impossibilité de conclure ni en faveur du kWh produit par le réseau d'Hydro-Québec ni en faveur du système éolien 30 kW pour la qualité des écosystèmes en raison des incertitudes dans les modèles d'impacts et donc que ceci ne permet pas de dire hors de tout doute que le kWh produit par le réseau d'Hydro-Québec offre une performance environnementale supérieure.

Page 38 : Au troisième point des conclusions, il faudrait nuancer que la conclusion en faveur d'un système de production décentralisée par rapport aux autres dépend de l'importance qu'accorde le décideur à chacune des catégories de dommages.

Annexe E : Pour la simulation de Monte Carlo pour le système éolien 1 kW, l'indication de la conclusion pour la Qualité des écosystèmes est erronée.

Annexe E : Les graphiques de l'analyse de sensibilité sur les rendements pour les systèmes éoliens de 1 kW et 10 kW présentent des valeurs positives (avantage pour le réseau d'Hydro-Québec) pour la qualité des écosystèmes et ce, pour toutes les quantités d'énergie considérées alors que dans le cas de base, la quantité d'énergie produite donne un avantage au système éolien. Ce cas de base est pourtant présent sur ces graphes.

Annexe E : Les graphiques des analyses de sensibilité sur les rendements de présentent aucune titre pour les axes.

4 ÉVALUATION DE LA CONFORMITÉ À LA NORME ISO 14044

1- EXIGENCES GÉNÉRALES	
1.A- Les résultats et conclusions de l'ACV doivent être communiqués de manière complète et précise au public concerné sans parti pris	
☐ Exigence respectée ☒ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	L'interprétation des résultats peut donner l'impression d'un biais en faveur du kWh produit par le réseau d'Hydro-Québec. Pour l'indicateur Qualité des écosystèmes, les auteurs affirment ne pouvoir se prononcer en faveur d'un système étudié par rapport au kWh du réseau d'Hydro-Québec en raison des incertitudes sur les modèles. Par contre, ils concluent que le kWh produit par le réseau a une performance environnementale supérieure aux systèmes étudiés. Si l'incertitude ne peut permettre une conclusion dans un sens, elle ne devrait pas permettre une conclusion inverse.
1.B- Les résultats, données, méthodes, hypothèses et limites doivent être transparents et présentés de manière suffisamment détaillée pour permettre au lecteur de comprendre les complexités et les compromis inhérents à l'ACV	
☐ Exigence respectée ☒ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Le kWh produit par le réseau d'Hydro-Québec est un élément central de l'étude et pourtant il n'est pas présenté en détail comme les autres systèmes de l'étude.
1.C- Le rapport doit permettre d'utiliser les résultats et l'interprétation de manière cohérente avec les objectifs de l'étude	
☐ Exigence respectée ☒ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Les paramètres clés identifiés pour chacun des systèmes étudiés (une partie du premier objectif de l'étude) ne sont pas suffisamment détaillés pour permettre au décideur une utilisation concrète des résultats.

2- EXIGENCES SPÉCIFIQUES POUR LES ÉTUDES AVEC DIVULGATION	
2.A ASPECTS GÉNÉRAUX	
2.A.1- Identification du commanditaire et réalisateur de l'étude ACV	
☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Hydro-Québec- Unité environnement et développement durable

2- EXIGENCES SPÉCIFIQUES POUR LES ÉTUDES AVEC DIVULGATION

2.A.2- Date du rapport

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Septembre 2012

2.A.3- Indication précisant que l'étude a été réalisée en conformité avec les exigences de la norme ISO 14044

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Précisée dans la mise en contexte en page 1.

2.B OBJECTIF DE L'ÉTUDE

2.B.1- Raisons ayant conduit à l'étude

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Précisée dans la mise en contexte en page 1.

2.B.2- Applications envisagées de l'étude

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

1- Améliorer la compréhension des systèmes étudiés
2- Cerner des pistes d'amélioration pour l'option de mesurage net pour autoproducteurs
3- Contribuer à une réflexion plus large sur la question de l'efficacité énergétique au Québec.

2.B.3- Public concerné

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Les résultats de l'étude pourront être divulgués publiquement

2.B.4- Indication précisant si l'étude va appuyer des affirmations comparatives destinées à être divulguées au public

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Précisée en page 20.

2.C CHAMP DE L'ÉTUDE

2- EXIGENCES SPÉCIFIQUES POUR LES ÉTUDES AVEC DIVULGATION

2.C.1 FONCTION

2.C.1- La fonction est clairement définie

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Page 6 : La fonction principale de chaque système consiste à produire de l'énergie.

2.C.1.i- Des indications quant aux caractéristiques de performance de la fonction sont données

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Les caractéristiques de performance sont présentées au tableau 2-1.

2.C.1.ii- Toute omission de fonctions supplémentaires dans les comparaisons est traitée

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Page 7 : Les systèmes étudiés ne présentent aucun caractère multifonctionnel.

2.C.2 UNITÉ FONCTIONNELLE

2.C.2 - L'unité fonctionnelle est clairement définie

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Page 6 Produire et distribuer un kilowattheure (kWh) d'électricité au Québec en 2011.

2.C.2.i –Le choix de l'unité fonctionnelle est cohérent avec les objectifs et le champ de l'étude

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

L'étude de systèmes répondant à une telle unité fonctionnelle permet d'atteindre les objectifs et le champ de l'étude.

2.C.2.ii –Les flux de référence pour chaque scénario sont clairement établis et en accord avec la définition de l'unité fonctionnelle

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Le Tableau 2-1 présente les flux de référence pour les 5 systèmes à l'étude.

2.C.3 FRONTIÈRES DU SYSTÈME

2- EXIGENCES SPÉCIFIQUES POUR LES ÉTUDES AVEC DIVULGATION

2.C.3 –Les frontières du système doivent être clairement définies

- ☐ Exigence respectée
- ☒ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

La section 2.5 présente les frontières des systèmes. Toutefois, les frontières du système pour la production d'un kWh par le réseau d'Hydro-Québec devraient être présentées afin de bien saisir ce qui est inclus dans ce système qui se retrouve au cœur des conclusions de l'étude.

2.C.3.i –Les omissions d'étapes du cycle de vie, de processus ou de données sont clairement discutées

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Le tableau 2-2 présente les processus et sous-processus inclus et exclus pour les cinq systèmes considérés. Toutefois, l'équivalent devrait être présenté pour le kWh produit par le réseau d'Hydro-Québec.

2.C.3.ii –Les intrants et extrants énergétiques et matériels sont définis et quantifiés

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

L'annexe C présente l'ensemble des processus considérés dans l'étude ainsi que les quantités pour chacun d'eux.

2.C.3.iii –Les hypothèses sur la production d'énergie sont présentées et adéquates par rapport aux frontières du système de l'étude

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

La section 2.6 en page 11 explique comment les mélanges énergétiques sont pris en considération selon qu'il s'agisse de processus d'avant-plan ou d'arrière-plan.

2.C.4 CRITÈRES D'ALLOCATION

2.C.4- Les critères d'allocation (massique, énergétique et environnemental) et les hypothèses pour l'introduction initiale des intrants et des extrants sont définies

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Le recyclage des métaux est exclu de l'étude car il est considéré faire partie d'un autre système.

2.C.4.i-L'effet de la sélection des critères d'allocation sur les résultats est discuté

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Cette règle du cut-off est reprise dans la discussion des résultats.

2.D INVENTAIRE DU CYCLE DE VIE

2- EXIGENCES SPÉCIFIQUES POUR LES ÉTUDES AVEC DIVULGATION

2.D.1- La méthodologie utilisée pour la collecte de données est expliquée

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

La section 2.6 détaille la collecte de données et l'emploi de la base de données ecoinvent dans le cadre de cette étude

2.D.2- Une description qualitative et quantitative des processus élémentaires est faite

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Dans l'ensemble du chapitre 2 et de l'annexe C, les processus sont présentés.

2.D.3- Les sources de la documentation consultée sont données

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Les références sont données.

2.D.4- Le mode de calcul de l'inventaire est présenté

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Les auteurs ont employés le logiciel SimaPro 7.3.

2.D.5- La qualité des données utilisées est évaluée

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

La qualité des données est évaluée de manière qualitative à l'annexe D selon les critères de fiabilité et de représentativité définis à la section 2.8.2.

2.D.6- Une explication est fournie sur la manière dont les données manquantes sont traitées

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

En page 10, il est mentionné que certains processus ont été exclus à cause d'un manque de données et qu'il n'est pas possible de connaitre l'effet de l'inclusion de ces éléments sur les résultats de l'étude.

2.D.7- Une analyse de sensibilité est faite afin de raffiner les frontières du système

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Une analyse de sensibilité a été faite sur l'exclusion des étapes de transport et de distribution pour la modélisation de l'approvisionnement électrique d'Hydro-Québec. Il s'agit de la seule analyse de sensibilité à proprement parler sur les frontières du système et elle est faite sur le système dont les frontières ne sont pas explicitement présentées.

2.D.8- Les règles d'allocation sont documentées et justifiées

2- EXIGENCES SPÉCIFIQUES POUR LES ÉTUDES AVEC DIVULGATION

☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Le recyclage des métaux est exclu par la règle du cut-off. Il s'agit d'une approche classique.
2.D.9- Les règles d'allocation sont appliquées de manière uniforme	
☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Cette règle semble être appliquée de manière uniforme.
2.E ÉVALUATION DES IMPACTS DU CYCLE DE VIE	
2.E.1- Les modes opératoires, les calculs et les résultats de l'évaluation du cycle de vie sont présentés	
☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Les calculs pour l'ÉICV ont été faits à l'aide du logiciel SimaPro 7.3 et de la méthode d'évaluation d'impacts Impact 2002+. L'annexe E présente l'ensemble des résultats de l'ÉICV
2.E.2- Les résultats de l'ÉICV respectent les objectifs et le champ de l'étude	
☐ Exigence respectée ☒ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	L'identification des paramètres clés est trop générale pour permettre de cerner des pistes d'amélioration pour l'option de mesurage net pour autoproducteurs.
2.E.3- La relation entre les résultats de l'ÉICV et les objectifs et le champ de l'étude est discutée	
☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Des conclusions intermédiaires sont faites suite aux différentes analyses pour faire le lien avec les objectifs de l'étude.
2.E.4- La relation entre les résultats de l'ÉICV et les résultats de l'inventaire est discutée	
☐ Exigence respectée ☒ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Les liens sont faits de manière très générale. Les contributeurs sont identifiés comme des grandes classes d'activités plutôt que d'identifier les activités et processus spécifiques les plus impactant.
2.E.5- Les catégories d'impacts et les catégories d'indicateurs sont définies, justifiées et référencées	
☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	L'annexe B présente la méthodologie d'évaluation des impacts. Une référence est également donnée et une discussion sur les différents indicateurs est présentée en pages 14 et 15.
2.E.6- Une description de tous les modèles de caractérisation, des facteurs de caractérisation et des méthodes utilisées, y compris toutes les hypothèses et les limites, est donnée	

2- EXIGENCES SPÉCIFIQUES POUR LES ÉTUDES AVEC DIVULGATION

☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	L'annexe B présente la méthodologie d'évaluation des impacts. Une référence est également donnée et une discussion sur les différents indicateurs est présentée en pages 14 et 15.
2.E.7- Une description de tous les choix de valeurs utilisés en rapport avec les catégories d'impact, les modèles de caractérisation, les facteurs de caractérisation, la normalisation, le regroupement, la pondération et ailleurs dans l'ÉICV est faite de même qu'une justification de leur utilisation et de leur influence sur les résultats, les conclusions et recommandations	
☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	L'annexe B présente la méthodologie d'évaluation des impacts. Une référence est également donnée et une discussion sur les différents indicateurs est présentée en pages 14 et 15. Aucune normalisation n'a été faite
2.E.8- Une indication est faite que les résultats de l'ÉICV soient des expressions relatives et qu'ils ne prédisent pas les effets sur les impacts finaux par catégorie, le dépassement des seuils, les marges de sécurité ou les risques	
☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Page 35 : Contrairement à l'analyse de risque environnemental conduite dans le contexte réglementaire et qui utilise une approche conservatrice, l'ACV tente de fournir la meilleure estimation possible. Page 36: Les résultats de l'ACV présentent des impacts environnementaux potentiels et non réels.
2.F INTERPRÉTATION DU CYCLE DE VIE	
2.F.1- Les résultats sont clairement présentés et interprétés	
☐ Exigence respectée ☒ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Les processus contributeurs ne sont pas clairement identifiés lorsque les profils environnementaux sont présentés. On parle plutôt de grandes catégories d'activités qui peuvent englober plusieurs processus. Davantage de détails sur les processus impliqués permettrait une meilleure utilisation de l'étude selon les objectifs de cette dernière.
2.F.2- Les hypothèses et les limites associées à l'interprétation des résultats sont présentées en relation avec la méthodologie et les données	
☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Les limitations de l'étude sont présentées.
2.F.3- Les résultats sont interprétés en fonction d'une évaluation de la qualité des données	

2- EXIGENCES SPÉCIFIQUES POUR LES ÉTUDES AVEC DIVULGATION

- ☐ Exigence respectée
- ☒ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Les résultats sont interprétés en considérant les incertitudes des modèles et des données, mais les interprétations qui en sont données ne semblent pas faites de manière équivalente selon qu'il s'agisse des systèmes étudiés ou du kWh produit par le réseau d'Hydro-Québec.

2.F.4- L'interprétation fait état d'une transparence totale en termes de choix de valeurs, de justifications et d'appréciations d'experts

- ☐ Exigence respectée
- ☒ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

L'interprétation des résultats peut donner l'impression d'un biais en faveur du kWh produit par le réseau d'Hydro-Québec. Pour l'indicateur Qualité des écosystèmes, les auteurs affirment ne pouvoir se prononcer en faveur d'un système étudié par rapport au kWh du réseau d'Hydro-Québec en raison des incertitudes sur les modèles. Par contre, ils concluent que le kWh produit par le réseau a une performance environnementale supérieure aux systèmes étudiés. Si l'incertitude ne peut permettre une conclusion dans un sens, elle ne devrait pas permettre une conclusion inverse.

2.G REVUE CRITIQUE

2.G.1- Les noms et les affiliations des réviseurs sont clairement identifiés

- ☐ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☒ Exigence non applicable

Comme il s'agit du rapport avant la revue critique, les noms des membres du comité de revue critique n'étaient pas connus des auteurs. Ils devraient être ajoutés dans les versions suivantes.

2.G.2- Le(s) rapport(s) du comité de revue critique est (sont) annexé(s) au rapport de l'étude

- ☐ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☒ Exigence non applicable

Ce premier rapport de revue critqiue devra être annexé au rapport d'étude ACV.

2.G.3- Les réponses des auteurs aux commentaires du comité de revue critique sont annexées au rapport de l'étude

- ☐ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☒ Exigence non applicable

Les réponses des auteurs à ce premier rapport de revue critique devront être annexées au rapport de l'étude ACV.

3- EXIGENCES ADDITIONNELLES EN MATIÈRE DE COMMUNICATION DANS LE CAS D'UNE AFFIRMATION COMPARATIVE DESTINÉE À ÊTRE DIVULGUÉE AU PUBLIC

3- EXIGENCES ADDITIONNELLES EN MATIÈRE DE COMMUNICATION DANS LE CAS D'UNE AFFIRMATION COMPARATIVE DESTINÉE À ÊTRE DIVULGUÉE AU PUBLIC

3.A.- Une analyse des flux de matière et d'énergie est faite afin d'en justifier leurs inclusions ou exclusions

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Une telle analyse n'a pas été faite, mais il n'y a pas suffisamment de flux exclus pour que ceci nuise au respect de l'exigence de la norme.

3.B - Une évaluation de la précision, de la complétude et de la représentativité des données utilisées est faite

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Les auteurs en page 17 mentionnent qu'il y a eu analyses de cohérence et de complétude tout au long de l'étude.

3.C.- Une description de l'équivalence des systèmes comparés est faite

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Les sections 2.2 et 2.3 définissent les systèmes et leur équivalence entre eux en termes de fonction et de quantité pour répondre à l'unité

fonctionnelle.

3.D.- Le processus de revue critique est décrit

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Le processus est décrit en page 20.

3.E.- Une évaluation de la complétude de l'ÉICV est faite

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Les auteurs en page 17 mentionnent qu'il y a eu analyse de complétude tout au long de l'étude.

3.F.- Une mention est faite de l'acceptation internationale des indicateurs de catégorie utilisée, de même qu'une justification de leur utilisation

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Une telle mention est faite en page 13.

3.G - Une explication est donnée quant à la validité scientifique et technique de même que la pertinence environnementale des indicateurs de catégories utilisés

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Les auteurs font référence à un article scientifique présentant la méthode d'impacts Impact 2002+.

3- EXIGENCES ADDITIONNELLES EN MATIÈRE DE COMMUNICATION DANS LE CAS D'UNE AFFIRMATION COMPARATIVE DESTINÉE À ÊTRE DIVULGUÉE AU PUBLIC	
3.H - Les résultats d'une analyse d'incertitude et d'une analyse de sensibilité sont présentés	
☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Les résultats de ces analyses sont présentés à l'annexe E et discutés dans le rapport.
3.I - Si des différences sont trouvées par rapport aux résultats de d'autres études similaires, une évaluation de la signification de ces différences est faite	
☐ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☒ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Aucune mention n'est faite par rapport à des études similaires. Les auteurs devraient, en l'absence de telles études, mentionner qu'il s'agit d'une première étude et qu'il n'est pas possible de faire de parallèle avec d'autres résultats.

Réponses aux réviseurs

Revue critique par un comité d'experts indépendants d'une étude ACV de filières de production décentralisée d'énergie électrique à petite échelle

Auteurs Chaire internationale sur le cycle de vie

Geneviève Martineau, ing., M.Sc.A.

Date Mars 2013

Le présent document présente les réponses du CIRAIG aux commentaires des réviseurs sur le rapport « ACV de filières de production décentralisée d'énergie électrique à petite échelle ».

Les réponses sont présentées dans l'ordre, et identifiées par les numéros de commentaires du comité de revue (rapport final du 7 janvier 2013). Se référer à ce rapport pour connaître la teneur des questions et commentaires.

No	Réponse de la Chaire sur le cycle de vie
	Commentaires généraux
1	Des modifications ont été apportées afin que l'électricité du réseau d'Hydro-Québec soit présentée avec autant de détails que les autres systèmes à l'étude. Une sous-section 2.5.1 « Processus inclus dans le système de référence » a été ajoutée. Elle décrit les éléments inclus et exclus de ce système. Une section 3.1.1 décrivant le profil environnemental du système de référence a également été créée. Enfin, un onglet a été ajouté à l'annexe C présentant le détail des processus du système de référence, tel que modélisé dans Simapro. *Il est à noter que certaines modifications ont été apportées à la modélisation du système de référence : le mélange énergétique comprenant la production, les achats et les importations pour l'année 2011 a été modélisé (la version précédente employait les données de l'année 2005) et les pertes en ligne considérées pour l'étape de distribution ont été modifiées de 8% à 5,5% pour correspondre aux données les plus récentes recueillies auprès d'Hydro-Québec. Tous les résultats de l'étude ont été mis à jour en conséquence.*
2	Une analyse de sensibilité sur le lieu de production des panneaux et des cellules photovoltaïques a été ajoutée (section 3.4.5).
3	La manière d'interpréter les résultats et de présenter les conclusions a été revue afin d'éviter de donner l'impression d'un biais en faveur du kWh distribué par le réseau d'Hydro-Québec.
4	Une analyse plus détaillée des étapes de production des systèmes éoliens et photovoltaïques a été ajoutée aux sous-sections 3.1.2 et 3.1.3. Notamment, la contribution des différentes composantes aux scores des différents indicateurs évalués est présentée.
5	La modélisation des panneaux solaires photovoltaïques a été modifiée selon les recommandations des réviseurs : potentiel solaire de 1 533 kWh/m².an pour tenir compte de l'orientation au sud et de l'inclinaison de 15° et facteur de performance de 75%. Les modifications correspondantes ont été faites dans le rapport (tableaux, graphiques et interprétations affectées par ce changement) : Tableau 2-1; Tableau 2-5; tous les résultats concernés au chapitre 3, ainsi que les annexes C et E.
	Commentaires spécifiques
page v (1)	Correction effectuée au sommaire et à la section 2.2 du rapport.

No	Réponse de la Chaire sur le cycle de vie
page v (2)	Correction effectuée au sommaire. Il s'agissait effectivement d'une erreur de typographie.
page vii	Sommaire. Le texte a été reformulé.
page xii	Sommaire. Correction effectuée.
page 5	Section 2.2.5. Correction effectuée.
page 7 (1)	Une phrase a été ajoutée à la suite du tableau 2-1 indiquant que la durée de vie d e20 ans pour les éoliennes de 1 et 10 kW peut être optimiste. Après examen des résultats de la présente étude, il n'a pas été jugé pertinent d'effectuer une analyse de sensibilité sur la réduction de la durée de vie des éoliennes de 1 et 10 kW, puisque ce paramètre aurait pour effet d'augmenter les impacts potentiels de ces systèmes. Ceci ne ferait qu'accentuer la tendance déjà observée, défavorisant les éoliennes de 1 et 10 kW par rapport aux autres options évaluées. Une note à cet effet a été ajoutée à la section 2.8.4 et dans les résultats à la section 3.2.
page 7 (2)	Une phrase a été ajoutée à la suite du tableau 2-1 indiquant que des analyses de sensibilité ont été réalisées sur le rendement des éoliennes.
page 8	Section 2.5.2 du rapport final. La description de l'étape d'utilisation des systèmes a été modifiée pour y inclure la distribution d'électricité et les pertes associées au transport de l'énergie, tel que suggéré.
page 18(1)	Les intervalles de production électrique moyenne (Tableau 2-6) ont été modifiées pour tenir compte du commentaire : 2 500 à 44 000 kWh/an pour l'éolienne de 10 kW et de 500 à 4 400 kWh/an pour l'éolienne de 1 kW. L'indication suivant a été ajoutée : « Pour les systèmes éoliens, une estimation de la production électrique correspondant à des vitesses de vents allant de moins de 3,0 m/s à plus de 8,5 m/s (sur une base moyenne annuelle, à la hauteur de la turbine, soit 10, 22 ou 30 m selon le type) a été réalisée ; des rendements de 50% étant jugés le maximum applicable. »
page 18(2)	Les auteurs sont d'accord. L'analyse de sensibilité excluant les étapes de transport et de distribution pour le kWh du réseau d'Hydro-Québec a été retirée.
page 23(1)	Voir réponse au Commentaire général 4.
page 23(2)	Une analyse de sensibilité sur la distance de transport des composantes des systèmes éoliens a été ajoutée à l'étude (sous-section 3.4.4). Cette analyse n'a pas été faite pour les systèmes photovoltaïques étant donné la faible contribution de l'étape de distribution au cycle de vie de ces systèmes.
page 23(3)	Sous-section 3.1.2. La contribution de l'étape d'utilisation des éoliennes de 10 kW est légèrement plus faible que pour les deux autres types d'éoliennes, parce que son étape d'installation/distribution est plus importante par kWh produit. Sur la base de l'inventaire (consommation de matériaux et processus appelés), l'étape d'utilisation de l'éolienne de 10 kW se trouve entre les deux autres. Comme rien de spécifique ne distingue l'utilisation des trois éoliennes, la note suivante a été ajoutée au paragraphe portant sur l'étape de distribution : « Il est à noter que dans le cas de l'éolienne de 10 kW, l'étape d'installation/distribution est plus importante par kWh produit, car c'est l'éolienne qui a la tour la plus haute (30 m) et donc une tour et une fondation plus lourdes à transporter et exigeant plus d'énergie à installer. ».
page 23(4)	Sous-section 3.1.2. Étant donné que la hauteur des tours des éoliennes n'est pas proportionnelle à leur puissance (22 m pour la 30 kW ; 30 m pour la 10 kW et 10 m pour la 1 kW), il n'est pas possible d'établir une corrélation directe entre la puissance d'une éolienne et la proportion que représente la phase de production dans son cycle de vie. Les proportions changent également d'un indicateur à l'autre. Il a été jugé que les explications plus détaillées quant à l'étape de production et aux composantes qui y contribuent répondaient en partie à ce commentaire.
page 27	Section 3.2. Le texte a été modifié pour enlever l'impression de biais en faveur du réseau d'Hydro-Québec.
page 29(1)	Section 3.2. L'analyse des résultats intégrant les incertitudes a été déplacée dans une nouvelle section résumant l'ensemble des analyses effectuées (section 3.5). Deux tableaux ont été créés et une description plus détaillée des résultats est présentée.
page 29(2)	Section 3.2. La nuance suggérée a été ajoutée au texte.

No	Réponse de la Chaire sur le cycle de vie
page 30(1)	Section 3.3. Correction effectuée.
page 30(2)	Section 3.3. Correction effectuée.
page 31	Sous-section 3.4.1. L’analyse réalisée avec la méthode d’évaluation des impacts ReCiPe a été détaillée et les écarts avec les résultats obtenus par IMPACT 2002+ ont été globalisés.
page 32	Des graphiques (figure 3-5 à 3-8) ont été ajoutés au corps du rapport pour faciliter la compréhension des lecteurs.
page 33(1)	L’analyse de sensibilité a été retirée.
page 33(2)	Une note concernant la possibilité d’étudier les panneaux solaires qui suivent le soleil a été ajoutée à la fin de la sous-section 3.4.2 et dans les Perspectives (sous-section 3.7.2).
page 34	Sous-section 3.4.3. L’étude préliminaire réalisée pour Environnement Canada comparait la production d’électricité issue de centrales photovoltaïques à celle de centrales aux carburants fossiles américaines. Par ailleurs, l’analyse de sensibilité présentée ici ne prenait pas en compte l’efficacité de production électrique des centrales. Cette erreur a été corrigée. Enfin, il a été choisi de retirer le mélange d’approvisionnement énergétique moyen canadien de cette analyse, car elle portait à confusion. Le terme production « marginale » a été ajouté à différents endroits dans le texte pour s’assurer que le lecteur saisisse bien qu’il s’agit de l’achat d’un kWh supplémentaire évité à Hydro-Québec par le fait de produire de l’électricité à petite échelle.
page 35	Section 3.6 du rapport final. Une précision a été ajoutée.
page 36(1)	Les recommandations (section 3.7 du rapport final) ont été reformulées afin de mettre l’accent non pas sur les conclusions déjà évoquées ailleurs, mais sur les éléments qui doivent être pris en compte pour améliorer le bilan environnemental des technologies ou de la consommation énergétique globale. Le commentaire des réviseurs ne s’applique donc plus.
page 36(2)	Voir réponse au commentaire précédent.
page 38(1)	Conclusions. Le texte a reformulé afin de tenir compte du commentaire.
page 38(2)	Conclusions. Le texte a été reformulé afin de présenter des conclusions plus générales (plutôt que des éléments spécifiques déjà mentionnés dans les analyses). Le commentaire des réviseurs ne s’applique donc plus.
Annexe E (1)	La simulation de Monte Carlo indique que le système éolien de 1 kW présente moins d’impacts potentiels que le réseau d’Hydro-Québec selon l’indicateur *Qualité des écosystèmes* dans 99% des cas. Ce résultat a été qualifié de « inversion possible, mais faible probabilité (≤ 15%) par rapport aux résultats déterministes des onglets précédents ». Il ne s’agit pas d’une erreur, puisque la probabilité d’inversion n’est que de 1%. Aucune modification apportée.
Annexe E (2)	L’erreur a été corrigée. L’analyse des résultats, à la sous-section 3.4.2, a également été ajustée.
Annexe E (3)	Une légende a été ajoutée sous les graphiques.

DESSAU

Le 30 avril 2013

Monsieur Christian Turpin
Conseiller- Performance environnementale- Chimie Environnement et développement durable Hydro-Québec
75, boulevard René-Lévesque Ouest
Montréal (Québec) H2Z 1A4

Objet: Revue critique par un comité d'experts indépendants d'une étude ACV de filières de production décentralisée d'énergie électrique à petite échelle
O/Ref.: 068-B-0004302-001-EN-R-0001-01

Cher monsieur Turpin,

Le comité de revue critique que je préside a complété la revue de l'étude ACV que vous avez demandé au CIRAIG de produire pour le compte d'Hydro-Québec. La revue critique d'une étude ACV est un exercice ayant pour objectif d'assurer que l'étude et son rapport répondent aux exigences de la norme ISO 14044. Notre travail ne consiste pas à approuver ou non la divulgation de l'étude à un public externe. Cette décision revient aux mandataires de l'étude.

Au nom des membres du comité de revue critique, je tiens à souligner l'effort que les auteurs de l'étude ont fait afin de répondre avec satisfaction à nos commentaires et question en lien avec la première version de cette étude. Il ne fait aucun doute pour le comité que cette deuxième version de l'étude est robuste, crédible et que l'interprétation des résultats permet une meilleure utilisation des conclusions de l'étude.

C'est donc avec plaisir que je vous transmets notre appréciation finale de l'étude ACV.

J'espère le tout à votre satisfaction.

Gontran Bage, ing., Ph.D.
Chargé de projet- Expert en analyse du cycle de vie

T 514.281.1010
F 514.798.8790
montreal@dessau.com
1080 côte du Beaver Hall
Bureau 300, Montréal (Québec)
Canada H2Z 1S8

RÉSUMÉ DE LA DÉCISION DU COMITÉ

TITRE DE L'ÉTUDE RÉVISÉE	Analyse du cycle de vie de filières de production décentralisée d'énergie électrique à petite échelle	
DATE DU RAPPORT	Mars 2013	
AUTEUR DE L'ÉTUDE	CIRAIG	
COMMANDITAIRE	Hydro-Québec	
DATE DE LA REVUE CRITIQUE	Avril 2013	
DÉCISION DU COMITÉ DE REVUE CRITIQUE	☒	Étude est conforme aux exigences de la norme ISO 14044
	☐	Étude requiert des corrections mineures conformément aux exigences de la norme ISO 14044
	☐	Étude requiert des corrections majeures conformément aux exigences de la norme ISO 14044

COMPOSITION DU COMITÉ DE REVUE CRITIQUE

PRÉSIDENT DU COMITÉ DE REVUE CRITIQUE	**GONTRAN BAGE, ING., PH.D.** **CONSEILLER EN DÉVELOPPEMENT DURABLE**
RÉVISEURS	Antoine Lacroix, ing., M.Sc. CanmetÉnergie- Ressources naturelles Canada
	Yves Poissant, Ph.D. CanmetÉnergie- Ressources naturelles Canada

Conformément à la section 6.3 de la norme ISO 14044, une étude doit faire l'objet d'une revue critique par un comité des parties prenantes si les résultats de l'étude peuvent être utilisés en support à une affirmation comparative destinée à être divulguée au public. Dans ce contexte, le travail des réviseurs est de s'assurer que l'étude est transparente et cohérente, que les données utilisées sont appropriées et en relation avec les objectifs de l'étude, que l'interprétation des résultats est en accord avec ces objectifs, que l'interprétation des résultats reflète les limites de l'étude telles qu'identifiées par ses auteurs, et que les méthodes employées par les auteurs de l'étude sont scientifiquement valables, adéquates par rapport aux objectifs de l'étude et en accord avec la norme ISO 14044. Il est important de rappeler qu'une décision du comité quant au respect par l'étude des exigences de la norme ISO 14044 ne signifie pas que le comité endosse la divulgation des résultats. Une telle divulgation reste sous la décision et la responsabilité des propriétaires de l'étude.

ÉVALUATION DE LA CONFORMITÉ À LA NORME ISO 14044

1- EXIGENCES GÉNÉRALES

1.A- Les résultats et conclusions de l'ACV doivent être communiqués de manière complète et précise au public concerné sans parti pris

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

1.B- Les résultats, données, méthodes, hypothèses et limites doivent être transparents et présentés de manière suffisamment détaillée pour permettre au lecteur de comprendre les complexités et les compromis inhérents à l'ACV

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

1.C- Le rapport doit permettre d'utiliser les résultats et l'interprétation de manière cohérente avec les objectifs de l'étude

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

2- EXIGENCES SPÉCIFIQUES POUR LES ÉTUDES AVEC DIVULGATION

2.A ASPECTS GÉNÉRAUX

2.A.1- Identification du commanditaire et réalisateur de l'étude ACV

- ☒ Exigence respectée — Hydro-Québec- Unité environnement et développement durable
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

2.A.2- Date du rapport

- ☒ Exigence respectée — Mars 2013
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

2- EXIGENCES SPÉCIFIQUES POUR LES ÉTUDES AVEC DIVULGATION

2.A.3- Indication précisant que l'étude a été réalisée en conformité avec les exigences de la norme ISO 14044

- ☒ Exigence respectée — Précisée dans la mise en contexte en page 1.
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

2.B OBJECTIF DE L'ÉTUDE

2.B.1- Raisons ayant conduit à l'étude

- ☒ Exigence respectée — Précisée dans la mise en contexte en page 1.
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

2.B.2- Applications envisagées de l'étude

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

1- Améliorer la compréhension des systèmes étudiés
2- Cerner des pistes d'amélioration pour l'option de mesurage net pour autoproducteurs
3- Contribuer à une réflexion plus large sur la question de l'efficacité énergétique au Québec.

2.B.3- Public concerné

- ☒ Exigence respectée — Les résultats de l'étude pourront être divulgués publiquement
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

2.B.4- Indication précisant si l'étude va appuyer des affirmations comparatives destinées à être divulguées au public

- ☒ Exigence respectée — Précisée en page 23.
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

2.C CHAMP DE L'ÉTUDE

2.C.1 FONCTION

2.C.1- La fonction est clairement définie

- ☒ Exigence respectée — Page 6 : La fonction principale de chaque système consiste à produire de l'énergie.
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

2- EXIGENCES SPÉCIFIQUES POUR LES ÉTUDES AVEC DIVULGATION

2.C.1.i- Des indications quant aux caractéristiques de performance de la fonction sont données

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Les caractéristiques de performance sont présentées au tableau 2-1.

2.C.1.ii- Toute omission de fonctions supplémentaires dans les comparaisons est traitée

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Page 7 : Les systèmes étudiés ne présentent aucun caractère multifonctionnel.

2.C.2 UNITÉ FONCTIONNELLE

2.C.2 - L'unité fonctionnelle est clairement définie

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Page 6 Produire et distribuer un kilowattheure (kWh) d'électricité au Québec en 2011.

2.C.2.i –Le choix de l'unité fonctionnelle est cohérent avec les objectifs et le champ de l'étude

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

L'étude de systèmes répondant à une telle unité fonctionnelle permet d'atteindre les objectifs et le champ de l'étude.

2.C.2.ii –Les flux de référence pour chaque scénario sont clairement établis et en accord avec la définition de l'unité fonctionnelle

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Le Tableau 2-1 présente les flux de référence pour les 5 systèmes à l'étude.

2.C.3 FRONTIÈRES DU SYSTÈME

2.C.3 –Les frontières du système doivent être clairement définies

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

2.C.3.i –Les omissions d'étapes du cycle de vie, de processus ou de données sont clairement discutées

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

2- EXIGENCES SPÉCIFIQUES POUR LES ÉTUDES AVEC DIVULGATION

2.C.3.ii –Les intrants et extrants énergétiques et matériels sont définis et quantifiés

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

L'annexe C présente l'ensemble des processus considérés dans l'étude ainsi que les quantités pour chacun d'eux.

2.C.3.iii –Les hypothèses sur la production d'énergie sont présentées et adéquates par rapport aux frontières du système de l'étude

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

La section 2.6 en page 13 explique comment les mélanges énergétiques sont pris en considération selon qu'il s'agisse de processus d'avant-plan ou d'arrière-plan.

2.C.4 CRITÈRES D'ALLOCATION

2.C.4- Les critères d'allocation (massique, énergétique et environnemental) et les hypothèses pour l'introduction initiale des intrants et des extrants sont définies

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Le recyclage des métaux est exclu de l'étude car il est considéré faire partie d'un autre système.

2.C.4.i-L'effet de la sélection des critères d'allocation sur les résultats est discuté

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Cette règle du cut-off est reprise dans la discussion des résultats.

2.D INVENTAIRE DU CYCLE DE VIE

2.D.1- La méthodologie utilisée pour la collecte de données est expliquée

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

La section 2.6 détaille la collecte de données et l'emploi de la base de données ecoinvent dans le cadre de cette étude

2.D.2- Une description qualitative et quantitative des processus élémentaires est faite

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Dans l'ensemble du chapitre 2 et de l'annexe C, les processus sont présentés.

2.D.3- Les sources de la documentation consultée sont données

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Les références sont données.

2- EXIGENCES SPÉCIFIQUES POUR LES ÉTUDES AVEC DIVULGATION

2.D.4- Le mode de calcul de l'inventaire est présenté

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Les auteurs ont employés le logiciel SimaPro 7.3.

2.D.5- La qualité des données utilisées est évaluée

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

La qualité des données est évaluée de manière qualitative à l'annexe D selon les critères de fiabilité et de représentativité définis à la section 2.8.2.

2.D.6- Une explication est fournie sur la manière dont les données manquantes sont traitées

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

En page 11, il est mentionné que certains processus ont été exclus à cause d'un manque de données et qu'il n'est pas possible de connaitre l'effet de l'inclusion de ces éléments sur les résultats de l'étude.

2.D.7- Une analyse de sensibilité est faite afin de raffiner les frontières du système

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Une analyse de sensibilité a été faite sur l'exclusion des étapes de transport et de distribution pour la modélisation de l'approvisionnement électrique d'Hydro-Québec. Il s'agit de la seule analyse de sensibilité à proprement parler sur les frontières du système et elle est faite sur le système dont les frontières ne sont pas explicitement présentées.

2.D.8- Les règles d'allocation sont documentées et justifiées

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Le recyclage des métaux est exclu par la règle du cut-off. Il s'agit d'une approche classique.

2.D.9- Les règles d'allocation sont appliquées de manière uniforme

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Cette règle semble être appliquée de manière uniforme.

2.E ÉVALUATION DES IMPACTS DU CYCLE DE VIE

2.E.1- Les modes opératoires, les calculs et les résultats de l'évaluation du cycle de vie sont présentés

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Les calculs pour l'ÉICV ont été faits à l'aide du logiciel SimaPro 7.3 et de la méthode d'évaluation d'impacts Impact 2002+.

L'annexe E présente l'ensemble des résultats de l'ÉICV

2- EXIGENCES SPÉCIFIQUES POUR LES ÉTUDES AVEC DIVULGATION

2.E.2- Les résultats de l'ÉICV respectent les objectifs et le champ de l'étude

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Les résultats présentés sont en lien avec les objectifs et le champ de l'étude

2.E.3- La relation entre les résultats de l'ÉICV et les objectifs et le champ de l'étude est discutée

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Des conclusions intermédiaires sont faites suite aux différentes analyses pour faire le lien avec les objectifs de l'étude.

2.E.4- La relation entre les résultats de l'ÉICV et les résultats de l'inventaire est discutée

- ☐ Exigence respectée
- ☒ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

Les liens sont faits de manière très générale. Les contributeurs sont identifiés comme des grandes classes d'activités plutôt que d'identifier les activités et processus spécifiques les plus impactant.

2.E.5- Les catégories d'impacts et les catégories d'indicateurs sont définies, justifiées et référencées

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

L'annexe B présente la méthodologie d'évaluation des impacts. Une référence est également donnée et une discussion sur les différents indicateurs est présentée en pages 16 et 17.

2.E.6- Une description de tous les modèles de caractérisation, des facteurs de caractérisation et des méthodes utilisées, y compris toutes les hypothèses et les limites, est donnée

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

L'annexe B présente la méthodologie d'évaluation des impacts. Une référence est également donnée et une discussion sur les différents indicateurs est présentée en pages 16 et 17.

2.E.7- Une description de tous les choix de valeurs utilisés en rapport avec les catégories d'impact, les modèles de caractérisation, les facteurs de caractérisation, la normalisation, le regroupement, la pondération et ailleurs dans l'ÉICV est faite de même qu'une justification de leur utilisation et de leur influence sur les résultats, les conclusions et recommandations

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

L'annexe B présente la méthodologie d'évaluation des impacts. Une référence est également donnée et une discussion sur les différents indicateurs est présentée en pages 16 et 17.

Aucune normalisation n'a été faite

2- EXIGENCES SPÉCIFIQUES POUR LES ÉTUDES AVEC DIVULGATION

2.E.8- Une indication est faite que les résultats de l'ÉICV soient des expressions relatives et qu'ils ne prédisent pas les effets sur les impacts finaux par catégorie, le dépassement des seuils, les marges de sécurité ou les risques

☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Page 46 : Contrairement à l'analyse de risque environnemental conduite dans le contexte réglementaire et qui utilise une approche conservatrice, l'ACV tente de fournir la meilleure estimation possible. Page 46: Les résultats de l'ACV présentent des impacts environnementaux potentiels et non réels.

2.F INTERPRÉTATION DU CYCLE DE VIE

2.F.1- Les résultats sont clairement présentés et interprétés

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

2.F.2- Les hypothèses et les limites associées à l'interprétation des résultats sont présentées en relation avec la méthodologie et les données

☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Les limitations de l'étude sont présentées.

2.F.3- Les résultats sont interprétés en fonction d'une évaluation de la qualité des données

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

2.F.4- L'interprétation fait état d'une transparence totale en termes de choix de valeurs, de justifications et d'appréciations d'experts

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

2.G REVUE CRITIQUE

2.G.1- Les noms et les affiliations des réviseurs sont clairement identifiés

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

2- EXIGENCES SPÉCIFIQUES POUR LES ÉTUDES AVEC DIVULGATION

2.G.2- Le(s) rapport(s) du comité de revue critique est (sont) annexé(s) au rapport de l'étude

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

2.G.3- Les réponses des auteurs aux commentaires du comité de revue critique sont annexées au rapport de l'étude

- ☒ Exigence respectée
- ☐ Exigence partiellement respectée
- ☐ Exigence non respectée
- ☐ Exigence non applicable

3- EXIGENCES ADDITIONNELLES EN MATIÈRE DE COMMUNICATION DANS LE CAS D'UNE AFFIRMATION COMPARATIVE DESTINÉE À ÊTRE DIVULGUÉE AU PUBLIC

3.A.- Une analyse des flux de matière et d'énergie est faite afin d'en justifier leurs inclusions ou exclusions

☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Une telle analyse n'a pas été faite, mais il n'y a pas suffisamment de flux exclus pour que ceci nuise au respect de l'exigence de la norme.

3.B - Une évaluation de la précision, de la complétude et de la représentativité des données utilisées est faite

☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Les auteurs en page 19 mentionnent qu'il y a eu analyses de cohérence et de complétude tout au long de l'étude.

3.C.- Une description de l'équivalence des systèmes comparés est faite

☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Les sections 2.2 et 2.3 définissent les systèmes et leur équivalence entre eux en termes de fonction et de quantité pour répondre à l'unité fonctionnelle.

3.D.- Le processus de revue critique est décrit

☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Le processus est décrit en page 23.

3- EXIGENCES ADDITIONNELLES EN MATIÈRE DE COMMUNICATION DANS LE CAS D'UNE AFFIRMATION COMPARATIVE DESTINÉE À ÊTRE DIVULGUÉE AU PUBLIC	
3.E.- Une évaluation de la complétude de l'ÉICV est faite	
☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Les auteurs en page 19 mentionnent qu'il y a eu analyse de complétude tout au long de l'étude.
3.F.- Une mention est faite de l'acceptation internationale des indicateurs de catégorie utilisée, de même qu'une justification de leur utilisation	
☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Une telle mention est faite en page 16.
3.G - Une explication est donnée quant à la validité scientifique et technique de même que la pertinence environnementale des indicateurs de catégories utilisés	
☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Les auteurs font référence à un article scientifique présentant la méthode d'impacts Impact 2002+.
3.H - Les résultats d'une analyse d'incertitude et d'une analyse de sensibilité sont présentés	
☒ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☐ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Les résultats de ces analyses sont présentés à l'annexe E et discutés dans le rapport.
3.I - Si des différences sont trouvées par rapport aux résultats de d'autres études similaires, une évaluation de la signification de ces différences est faite	
☐ Exigence respectée ☐ Exigence partiellement respectée ☒ Exigence non respectée ☐ Exigence non applicable	Aucune mention n'est faite par rapport à des études similaires. Les auteurs devraient, en l'absence de telles études, mentionner qu'il s'agit d'une première étude et qu'il n'est pas possible de faire de parallèle avec d'autres résultats.